ஒலி-ஓர் அறிமுகம்

(AN INTRODUCTION TO SOUND)

த. ஜெயராமன்



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—721

ஒலி - ஓர் அறிமுகம்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

(திருத்தப்பட்ட பாடத் திட்டத்தின்படி வெளியிடப்படுகிறது)

ஆசிரியர்

த. ஜெயராமன், எம்.ஏ.,
இயற்பியல் தலைமைப் பேராசிரியர்,
தியாகராசர் கல்லூரி,
மதுரை.



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—September, 1976

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 721

AN INTRODUCTION TO SOUND

T. JAYARAMAN

Price Rs. 7-05

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

Printed out of the Paper allotted by the Government of India.

Printed by
Vijayakumar Printing Works,
49, Sattanna Naicken Street,
Madras-600007.

பதிப்புரை

ஒளி—ஓர் அறிமுகம் என்ற இந் நூல், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 721ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 756 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்'தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

மேலாண்மை இயக்குநர்,
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

பொருளடக்கம்

ஒலி - ஓர் அறிமுகம்

1. ஒலி பரவுதல்

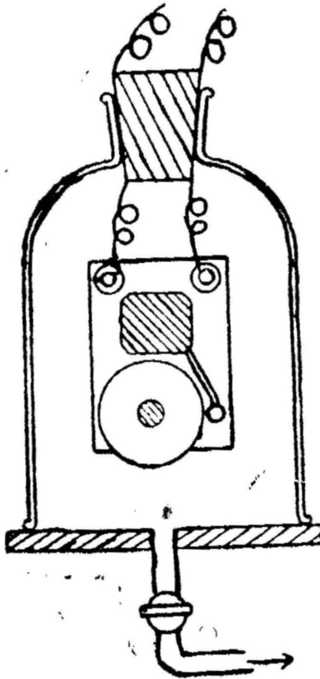
தோற்றுவாய்

மனிதன் ஒலியுடன் பிறக்கின்றான்; பல் வகையான ஒலியின் சூழலில் வளர்ந்து வாழ்கிறான்; கடைசியில் ஒலியுடன் மடிந்து மறைகிறான். இந்த ஒலி என்பது என்ன, எத்தன்மையது, எங்கிருந்து உண்டாகிறது, எப்படி உண்டாகிறது, எவ்வாறு பரவுகின்றது என்பனவற்றை இந் நூலில் காண்போம்.

நம் ஐம்புலன்களில் ஒன்றாகிய கேள்விப்புலனை இயக்கும் ஒரு சக்தியே ஒலி ஆகும். நம் காதினால் ஏற்றுணரப்படும் ஓர் உணர்வை ஒலி என்கிறோம். அதிர்வு நிலையிலுள்ள பொருள்களிலிருந்து ஒலி பிறக்கின்றது. ஒலி எழுப்பும் பொருள்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வு நிலையில் (Periodic Motion) இருக்க வேண்டும். செவியுணரா குறைந்த அதிர்வெண்களிலும் (Frequency), அதிக அளவு அதிர்வெண்களிலும் ஒலிக் கதிர்வீச்சு நடைபெறுகின்றது. இவ்விரண்டு எல்லைக்குமிடையே செவியுணர் அதிர்வெண் ஒலிக் கதிர்வீச்சு நடைபெறுகிறது. அதிர்வு நிலையிலுள்ள பொருளின் அதிர்வெண் செவியுணர் திறன் எல்லைக்குள் இருந்தால்தான் அப் பொருளின் துடிப்பைக் காது ஏற்றுணரும். செவியுண் ஒலியை உண்டாக்க ஒரு பொருளின் துடிப்பு குறைந்தது வினாடிக்கு 16 ஆகிலும் இருக்க வேண்டும். இதற்குக் குறைந்த அளவில் துடிக்கும் பொருள் ஒலியின் உணர்வைக் கொடுக்காவிட்டாலும், காற்றில் ஓர் அசைவைக் கொடுக்கும். இதை அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர் போன்ற சில தக்க கருவிகளினால் பகுத்துணரலாம். பொருளின் துடிப்பு வினாடிக்கு 20,000-க்கு மேற்பட்டு இருந்தாலும் செவியுணர் திறனைக் கடந்ததாகும். இதற்குக் கூடுதலாகத் துடிக்கும் பொருள்கள் உண்டாக்கும் ஒலி செவியுணரா ஒலியியலைச் சாரும். ஆகவே, ஒரு பொருளின் துடிப்பு வினாடிக்கு 16-க்கு மேலும், 20,000-க்குக் குறைந்தும் இருக்குமாயின், அது செவியுணர் எல்லைக்குள் உள்ள ஒலியை எழுப்பும். இந்த எல்லை மனிதரின் வயதை ஒட்டியும் மனிதருக்கு மனிதர் மாறுபடும்.

ஒலி பரவுதல்

ஒலி பரவுவதற்குக் காற்று அல்லது ஏதாவதோர் ஊடகப் பொருள் அவசியம் தேவை. வெற்றிடத்தில் ஒலி பரவாது. இவ்வுண்மையைக் கீழ்க்கண்ட சோதனையால் விளக்கலாம். ஒரு மணிஜாடியினுள் கம்பிச் சுருள்மூலம் ஒரு மின்சார மணி தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. கம்பிச் சுருளின்மூலம் மின் சாரத்தைப் பாய்ச்சினால் மணி அடிக்கும். மணியின் ஒலியை நாம் கேட்கலாம். காற்று வெளியேற்றும் பம்பினால் மணி ஜாடியிலுள்ள காற்றை வெளியேற்றினால் மணியின் ஒலி நமக்குக் கேட்காது. இதிலிருந்து ஒலி ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்குச் செல்லக் காற்று ஒரு சாதனமாய்ப் பயன் படுகின்றது என்பது விளங்குகின்றது. காற்றைப்போல் திடப் பொருள்களும், திரவப் பொருள்களும் ஒலி பரவுதலுக்குச் சாதனமாய் அமைகின்றன. ஆகையால், ஒலி பரவ ஓர் ஊடகம் தேவை என்பது தெளிவாகின்றது.



படம் 1

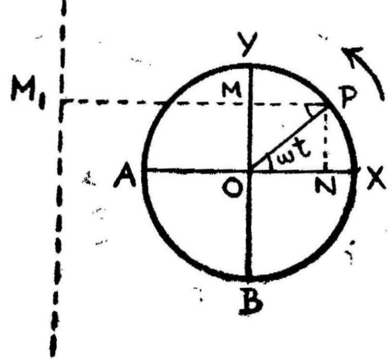
ஒலியைப் பரப்பும் ஊடகம்

ஒலி பரவும் திசையில் நகருவதில்லை. வெவ்வேறு ஊடகங்களில் வெவ்வேறு வேகத்தில் ஒலி செல்கின்றது. ஒரு மூலத்தில் பிறந்த ஒலியானது சிறிது காலம் கடந்தே கேட்போர் செவியை அடைகின்றது. அதிரும் ஒரு பொருளிலிருந்துதான் ஒலி உண்டாகின்றது. இவற்றையெல்லாம் ஆராயும்பொழுது ஓர் ஊடகத்தில் அலையைப்போல் ஒலி பரவுகின்றது என்று முடிவு செய்யலாம்.

சீரிசை இயக்கம் (Simple Harmonic Motion)

சீரிசை இயக்கத்தில் இயங்கும் ஒரு பொருளிலிருந்து அலையியக்கம் உண்டாகின்றது. 'a' ஆரம் உள்ள ஒரு வட்டத்தின் பரிதி வழியே 'ω' கோண திசை வேகத்தில் செல்லும் ஒரு துகளை எடுத்துக்கொள்வோம். இத் துகள் X-என்னுமிடத்தில் புறப்பட்டு இடஞ்சுழியாக P-என்னுமிடத்திற்கு

t-வினாடியில் செல்கிறது. P-யிலிருந்து PM என்னும் நேர்க் குத்துக் கோட்டை BOY என்னும் விட்டத்தில் வரைவோம். P-வட்டத்தில் சுற்றிச் சுற்றி வரும்போது M முன்னும் பின்னும் BOY என்னும் நேர்க் கோட்டில் நகரும். M-ன் அசைவே சீரிசை இயக்கமாகும். 'சீரான வேகத்தில் வட்டத்தின் பரிதியில் ஓடும் ஒரு துகளிலிருந்து விட்டத்தின்மேல் வரையப்பட்ட நேர்க்குத்துக் கோட்டின் அடிச்சுவட்டின் இயக்கத்தைச் சீரிசை இயக்கம் எனலாம்'.



படம் 2

சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள M-ன் சம நிலையை O என்று எடுத்துக்கொண்டால், ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் M-ன் இடப் பெயர்ச்சி $Y=OM$ ஆகும். $\angle XOP=\omega t$

$$\frac{OM}{OP}=\sin X\hat{O}P \text{ (படம் 2-ல்)}$$

$$\therefore \quad OM = OP.\sin \omega t$$

அதாவது $Y = a \sin \omega t$

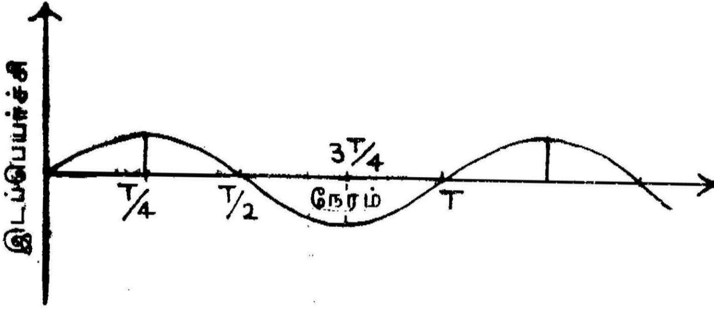
இச் சமன்பாடு சீரிசை இயக்கத்தைக் குறிக்கும். t வினாடியில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி Yஆகும். பெரும இடப்பெயர்ச்சி வட்டத்தின் ஆரம் 'a'-க்குச் சமம் ஆகும். இந்தப் பெரும இடப் பெயர்ச்சியை வீச்சு (Amplitude) என்கிறோம். 'P' ஒருமுறை வட்டத்தைச் சுற்றிவர எடுத்துக்கொள்ளும் அதே நேரத்தில் M, O-ல் ஆரம்பித்து Y-ஐ அடைந்து, பின் கீழ்நோக்கி B-க்குச் சென்று, திரும்பவும் O-ஐ வந்தடையும். இந்த நேரத்தை அதிர்வு நேரம் (Period) என்கிறோம். இந்த அதிர்வு நேரத்தை 'T' எனக் குறிப்பிடுவோம்.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ ஆகும்.}$$

சீரிசை இயக்கத்தை வரைபடத்தால் குறித்தல்

சீரிசை இயக்கத்தில் செயல்படும் ஒரு துகளின் இடப் பெயர்ச்சியை நேரத்திற்கேற்ப வரைகோட்டால் குறிப்பிடலாம்.

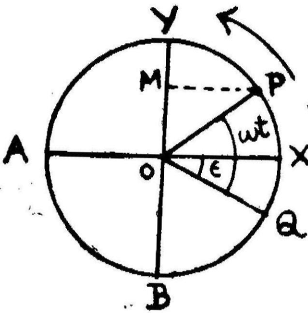
இந்த வரைபடத்திற்கு 'நேர-இடப்பெயர்ச்சி வளைகோடு' என்று பெயர். இப் படம் சைன் வளைவை (sine curve) ஒத்திருக்கும்.



படம் 3

கட்டமும் தொடக்கக் கட்டமும் (Phase and Epoch)

P என்னும் துகள் X-லிருந்து புறப்படுவதாய் எடுத்துக் கொண்டால், துகள் அதிர்வைத் தொடங்கும்பொழுது M, O-ல் இணையும். எனவே, ஆரம்ப இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். சில சமயம் துகள் Q என்னும் புள்ளியிலிருந்து புறப்படலாம். நேரத்தை இந்த ஆரம்ப இடத்திலிருந்தும் கணக்கிடலாம். இதில் சீரிசை இயக்கத்திலிருக்கும் துகள் ஆரம்ப இடப் பெயர்ச்சியைப் பெற்றுள்ளது.



படம் 4

கோணம் XOQ-ன் மதிப்பு ϵ ஆக இருக்கட்டும்.

கோணம் $QOP = \omega t$ ஆகும்.

எனவே, கோணம் $XOP = (\omega t - \epsilon)$ ஆகும்.

ஆகையால் $OM = OP. \sin \hat{XOP}$

அதாவது, $y = a \sin (\omega t - \epsilon)$

இதில் சீரிசை இயக்கம் ϵ என்னும் ஆரம்பக் கட்டத்தைப் பெற்றுள்ளது. எனவே, சீரிசை இயக்கத்திற்குப் பொதுச் சமன்பாடு $y = a \sin (\omega t - \epsilon)$ ஆகும். அதாவது, t விநாடியில் இடப்பெயர்ச்சி y-ஆகும்; மற்றும் 'a' என்பது வீச்சையும், '$-\epsilon$' என்பது தொடக்கக் கட்டத்தையும் குறிக்கும்.

துகள், AX கோட்டிற்கு மேலே ஏதாவது ஒரு புள்ளியி லிருந்து புறப்பட்டால் $y = a \sin(\omega t + \epsilon)$ ஆகும். இப்பொழுது தொடக்கக் கட்டம் '$+\epsilon$' ஆகும்.

ஒரே அலைவு நேரம் கொண்ட இரு சீரிசை இயக்கங்களை

$y_1 = a \sin(\omega t + \epsilon_1)$ என்றும்

$y_2 = a \sin(\omega t + \epsilon_2)$ என்றும் குறித்தால், இந்த இரண்டு சீரிசை இயக்கங்களின் கட்ட வேறுபாடு $(\epsilon_2 - \epsilon_1)$ ஆகும்.

சீரிசை இயக்கத்தின் பகுவியல் சமன்பாடு (Differential Equation for S. H. M.)

சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள ஒரு துகளின் இடப்பெயர்ச்சியை $y = a \sin(\omega t - \epsilon)$ எனக் குறிப்பிட்டால், துகளின் திசை வேகம் $\frac{dy}{dt} = a\omega \cos(\omega t - \epsilon)$ ஆகும்; இதன் பெரும அளவு $a\omega$. எனவே,

$$\text{துகளின் முடுக்கம் } \frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 a \sin(\omega t - \epsilon)$$

$= -\omega^2 y$. இதிலிருந்து துகளின் முடுக்கம் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது என்பது விளங்கும். மேலும், இடப்பெயர்ச்சி நேராக (positive) இருக்கும்பொழுது முடுக்கம் எதிராகும் (negative) என்பதும் விளங்கும். எனவே, முடுக்கம் எப்போதும் இடப்பெயர்ச்சிக்கு எதிராக உள்ளது. அதாவது, முடுக்கம் ஒரு நிலைப்புள்ளியை நோக்கி உள்ளது என்பது தெளிவாகின்றது. இந்த நிலைப்புள்ளியை மைய மாகக்கொண்டு சீரிசை இயக்கம் செயல்படுகின்றது.

$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y$ ஆவதால், $\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$ என்பது சீரிசை இயக் கத்தின் பகுவியல் சமன்பாடு ஆகும்.

ஒலி உணர்வு

ஒலியை உண்டுபண்ணிப் பரப்பினால் மட்டும் ஒலியின் உணர்வு கிட்டாது. ஒருவர் ஒலியை உணரச் செம்மையான கேள்புலனைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். அதிரும் மூலத்திலிருந்து எழும் ஒலி தக்க ஊடகங்களின் வழியே பரவி, காதின் திரையில் விழ திரை அதிரும். காதின் திரையில் ஏற்படும் அதிர்வுகள் காதின் மற்றப் பகுதிகளின்மூலம் எடுத்துச் செல்லப்பட்டு மூளையின் கேள்வி நரம்புகளை இயக்குகின்றன. இவ்வாறு ஒலி உணரப் படுகின்றது.

ஒலியின் பகுப்புகள்

அறிவியல் பகுப்பில் ஒலியியல் பல பகுதிகளைக் கொண்டுள்ளது. அவையாவன :

(அ) பொது நிலை : ஒலியை உண்டு பண்ணுதல், ஒலியைப் பரப்புதல், அலையியக்கம், பிரதிபலிப்பு, எதிரொலிப்பு, ஒலி விலகல், முதலியவற்றை ஆராய்தல்.

(ஆ) இசை ஒலி : பல ஒலிக் கருவிகளிலிருந்து உண்டாகும் ஒலியின் தன்மை, செறிவு, சுருதி, பண்பு, இசை ஒலியின் அளவுகோல் முதலியன.

(இ) கலை நுட்ப ஒலி அல்லது தொழில் நுட்ப ஒலி : இப்பிரிவில் ஒலிப்பான், ஒலிபெருக்கி, பேசும் படம் போன்ற ஒலியின் தொழில் நுட்பச் சாதனங்களைப் பற்றியும், ஒலியியல் தொலைவு அளவீடு, ஆழம் காணல், கட்டட ஒலியியல் முதலியவற்றைப் பற்றியும் ஆராய்தல்.

2. அலை இயக்கம்

(Wave Motion)

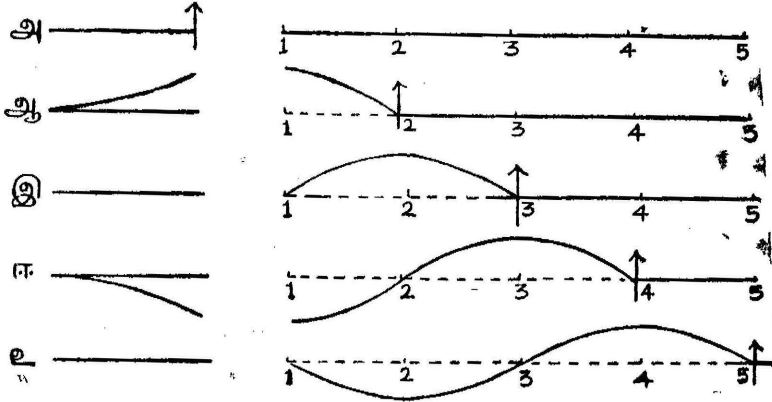
ஒலி, ஒளியைப்போல் அலையியக்கத்தில் பரவுகின்றது. ஒலி பரவும் ஊடகத்தின் துகள்கள் நடுநிலையினின்று இரு பக்கமும் ஒரு கால நிர்ணயப்படி செய்யும் ஒருவித இயக்கத்தினால் ஊடகத்தில் எழும் ஓர் அசைவை அலையெனக் கொள்ளலாம். அலையைப் பரப்பும் ஊடகத்தின் துகள்கள் ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு நிரந்தரமாக மாற்றப்படுவதில்லை. ஆனால், நடு நிலையிலிருந்து இரு பக்கமும் குறிப்பிட்ட கால நிர்ணயப்படி இயங்குகின்றன. துகள்களின் இயக்கம் சீரிசை இயக்கத்தில் அடங்கும். துகள்களின் இயக்கம் அலை செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தாக இருப்பின், அலைகள் குறுக்கு அலைகள் எனப்படும். துகள்களின் அசைவு அலையின் திசைக்கு இணையாக இருப்பின், அலைகள் நெட்டலைகள் எனப்படும். இவ்விரு வகை அலைகளையும் கீழ்க் கண்ட முறையில் விளக்கலாம்:

குறுக்கலைகள் (Transverse Waves)

துடிக்கும் ஓர் இசைக்கவையின் பல்வேறு நிலைகளைப் படத்தில் காணவும். அந் நிலைகளையொட்டி ஒலியலைகள் பரவும் தன்மை விளங்கும். கவையின் ஒரு முழு துடிப்பின்போது அதன் ஐந்து முக்கிய நிலைகளையும் இடப்புறமுள்ள படத்தில் காணலாம். இரண்டு அடுத்தடுத்த நிலைகளுக்கு இடைப்பட்ட நேரம் ஓர் அலை நேரத்தின் கால்பாகம் (T/4) ஆகும். இதற்கேற்ப, வலப்புறத்தில் 5 துகள்களின் நிலை காட்டப்பட்டுள்ளது.

இடப்புறப் படம் நிலை அ-ல் இசைக்கவை ஓய்வு நிலையிலிருந்து துடிக்க ஆரம்பிக்க இருப்பதைக் குறிக்கிறது என்று வைத்துக்கொள்வோம். முதல் துகளும் (1) மேலே எழும் தருவாயிலுள்ளது. T/4 நேரம் கழித்துக் கவையின் நிலை படம் ஆ-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. முதல் துகள் மேலே உச்ச நிலையை அடைந்திருப்பதையும், இரண்டாவது துகள் (2) தனது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும் தருணத்தில் இருப்பதையும் காட்டுகிறது. இவ்விரண்டு துகள்களுக்குமிடைப்பட்ட துகள்கள் மேலே

நகர்ந்து பல்வேறு நிலையிலுள்ளன. இவையெல்லாம் 1-ஐயும் 2-ஐயும் சேர்க்கும் வளைகோட்டில் அமைகின்றன.



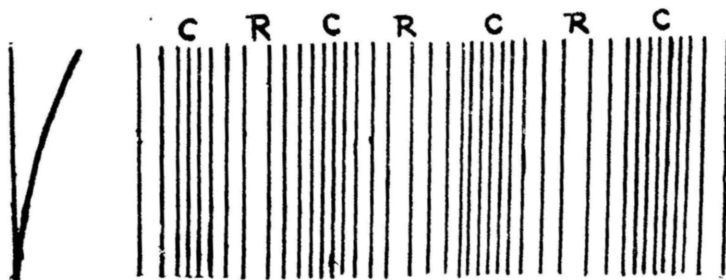
படம் 5

T/2 நேரம் கழித்துக் கவையின் நிலை படம் இ-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. கவை தனது ஆரம்ப நிலைக்குத் திரும்பியபின் கீழ் நோக்கிச் செல்ல இருக்கின்றது. துகள் 1 தனது ஆரம்ப நிலைக்கும், துகள் 2 தனது மேல் உச்ச நிலைக்கும், துகள் 3 தனது துடிப்பை ஆரம்பிக்க உள்ள நிலையிலும் வந்துள்ளன. 1-க்கும் 3-க்கும் இடையேயுள்ள துகள்கள் அவற்றை இணைக்கும் வளை கோட்டில் அமைகின்றன.

$\frac{3}{4}$T நேரம் கழிந்து இசைக்கவை உள்ள நிலையைப் படம் ஈ காட்டுகின்றது. 1 முதல் 4 வரையுள்ள துகள்களின் நிலையையும் முன்போல் படத்தில் காணலாம். இசைக்கவை ஒரு முறை முழுதும் துடித்து நிற்கும் நிலை படம் உ-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. மேலும், குறிக்கப்பட்ட ஐந்து துகள்களும் உள்ள நிலையையும் காணலாம். முதல் துகள் ஒருமுறை மேலும் கீழும் சென்று ஓய்வு நிலைக்குத் திரும்பியுள்ளது. இசைக்கவை தனது இரண்டாவது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும்பொழுது முதல் துகளும் தனது இரண்டாவது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும். ஐந்தாவது துகள் அப்பொழுதுதான் தனது முதல் துடிப்பை ஆரம்பிக்கும். துகள் 1-க்கும் 5-க்கும் இடைப்பட்ட எல்லாத் துகள்களும் தொடர்ந்து துடித்துக்கொண்டேயிருக்கும். துடிக்கும் எல்லாத் துகள்களும் ஓர் அலை வடிவத்தில் அமைகின்றன. ஒலி பரவும் திசைக்குச் செங்குத்தாகத் துகள்கள் துடிக்கின்றன. ஆகவே, இவ்வலை குறுக்கலை எனப்படுகின்றது.

நெட்டலைகள் (Longitudinal Waves)

இசைக்கவை துடிக்கும் திசையிலுள்ள துகள்களின் அசைவைக் கவனிக்கவும். துடிக்கும் கவை தன்னை ஒட்டியுள்ள துகள்களை நெருக்கித் தள்ளுகின்றது. அவை விலக்கப் பெற்று, தம் பக்கத்திலுள்ள துகள்களைத் தள்ளுகின்றன. கவை இறுதி நிலையை அடையும்பொழுது துகள்களின் நெருக்கம் உச்ச நிலையை அடைகின்றது. இசைக்கவை பின் நோக்கி நகரும் பொழுது துகள்கள் விரிவடைகின்றன. இந்த விரிவு பக்கத்



படம் 6

திலுள்ள துகள்களை நெருக்க, அவையும் அசைவு பெறுகின்றன. இவ்விதமாகக் கவை அசைந்து ஒலியைப் பரப்பும்பொழுது துகள்கள் முன்னும் பின்னும் நகர்ந்து நெருக்கமும் (Compression), விலக்கமும் (Rarefaction) உண்டுபண்ணுகின்றன. இதில் துகள்கள் ஒலி பரவும் திசையிலேயே முன்னும் பின்னும் அசைகின்றன. இவ்வித அலை ஓட்டத்தை நெட்டலை (Longitudinal Waves) என்கிறோம். அதாவது ஒலி பரவும் திசையிலேயே துகள்களும் நகருமானால், அலைக்கு நெட்டலை என்று பெயர்.

இவ்விரு வித அலைகளிலும் துடிக்கும் துகள்கள் அலையுடனேயே சென்று விடுவதில்லை; நடுநிலையிலிருந்து இருபக்கமும் துடிக்கின்றன. எனவே, நகருவது ஒலி ஆற்றலே தவிர, துகள்களல்ல. குறுக்கலையாயினும் நெட்டலையாயினும் துகள்கள் துடிப்பதற்கு மூலகாரணம் துடிக்கும் இசைக்கவையேயாகும். இந்த இரண்டுவித அலைகளுமே 'முன்னேறு அலைகள்' (Progressive Waves) எனப்படும்.

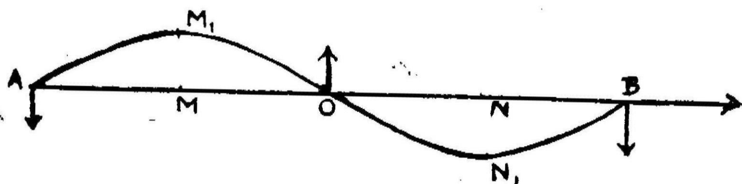
குறுக்கலை, நெட்டலை ஆகியவற்றை வரைபடத்தால் வர்ணித்தல்

(Graphical Representation of Transverse and Longitudinal Waves)

குறுக்கலையின் வரைபட வர்ணிப்பு

சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள குறுக்கலையை வரைபடத்தால் வர்ணிக்கலாம்.

ஓர் ஊடகத்தில் *AB* திசையில் செல்லும் குறுக்கலையை எடுத்துக்கொள்வோம். ஊடகத்தின் துகள்கள், *AB*-க்குச் செங்குத்தாகச் சீரிசையாக இயங்குகின்றன. ஊடகத்தில் A என்னுமிடத்திலுள்ள ஒரு துகள் நடுநிலையிலிருந்து கீழ்நோக்கிப் பெரும அளவு நகர்ந்து, *A*-க்குத் திரும்பி, பெரும அளவு மேல் நோக்கி நகர்ந்து, கடைசியாக நடுநிலையை அடைந்து, ஓர் அதிர்வை முடித்து, திரும்பவும் தன் அசைவை கீழ்நோக்கி ஆரம்பிக்கும் தருணத்திலுள்ளது. *A*-யிலுள்ள துகள் ஓர் அலைவை முடித்து நிற்கும் நேரத்தில் ஊடகத்தின் *AB* நீளம் ஒலி உலைவு பெற்றிருக்கும். இத் தருணத்தில் *A*-க்கும் *B*-க்கும் இடையிலுள்ள பல்வேறு துகள்களின் அசைவு நிலையையும் இடப்பெயர்ச்சியையும் ஆராய்வோம்.



படம் 7

A-யிலிருந்து $\frac{1}{4}AB$ தூரத்தில் *M* என்ற புள்ளியிலுள்ள துகளை எடுத்துக்கொள்வோம். ஒலி ஊக்கம் *A*-ஐ அடைந்த T/4 காலத்திற்குபின் (T= துகளின் அதிர்வு நேரம்) *M*-ஐ அடையும். ஆகையால், *M*-ன் அதிர்வு கட்டம் *A*-ஐவிட T/4 பின்னுள்ளது. எனவே, *M*-ல் உள்ள துகள் நடுநிலையிலிருந்து கீழ்ப்புறப் பயணத்தை முடித்து மேல் நோக்கிப் பெரும அளவு நகர்ந்து M_1 என்னும் புள்ளியை அடைந்துள்ளது.

இதேபோல் *A*-யிலிருந்து $\frac{1}{2}AB$ தூரத்தில் *O* என்னும் இடத்திலுள்ள ஒரு துகளை எடுத்துக்கொண்டால், *O*-வின்

அதிர்வு கட்டம் A-ஐவிட T/2 அளவு பின்தங்கியிருக்கும். ஆகையால் O-விலுள்ள துகள், நடுநிலையிலிருந்து கீழ்ப்புற அசைவை முடித்து நடுநிலையிலிருந்து மேல் நோக்கி நகரும் தருணத்திலுள்ளது.

A-யிலிருந்து $\frac{3}{4}AB$ தூரத்தில் N என்னுமிடத்திலுள்ள துகள் A ஊக்குவிக்கப்பட்ட பின் $\frac{3}{4}$ T நேரம் கழித்தே ஊக்குவிக்கப்படுகின்றது. ஆகவே, அதன் அதிர்வு கட்டம் A-ஐவிட $\frac{3}{4}$ T பின்தங்கியுள்ளது. இத் துகள் கீழ்ப்பக்கம் பெரும அளவு நகர்ந்து N_1 என்னும் இடத்தை அடைந்துள்ளது.

ஒலி ஆற்றல் A-ஐ அடைந்த பின்னர், T நேரத்தில் B-யிலுள்ள துகள் ஊக்குவிக்கப்படுகிறது. ஆகவே, அதன் அதிர்வு கட்டம் A-ஐவிட T பின்தங்கியுள்ளது. அதாவது, B-யிலுள்ள துகள் தன் அதிர்வைக் கீழ்நோக்கி ஆரம்பிக்கும் நிலையிலுள்ளது.

ஊடகத்தின் பல்வேறு துகள்கள் $AM_1\ ON_1\ B$ என்னும் அலை வளைவில் அமைந்துள்ளன. சைன் அல்லது கொசைன் வளைவைப் போலுள்ள இந்த வளைவே அலையெனப்படும்.

இந்த அலை, துகள்களின் உண்மை இடமாற்றத்தைக் குறிக்கும். மேலும், அலை வளைவில் ஒரு புள்ளியில் சரிவு அந்தப் புள்ளியில் அதிரும் துகளின் வேகத்தைக் குறிக்கும். அப் புள்ளியின் அலை வளைவின் சரிவு மாற்றம் அப் புள்ளியில் அதிரும் துகளின் முடுக்கத்தைக் குறிக்கும்.

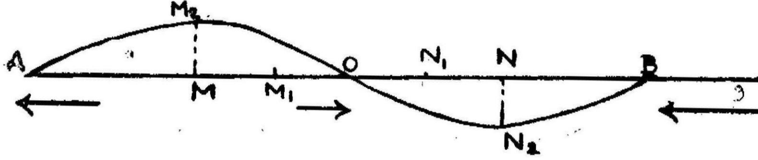
நெட்டலையின் வரைபட வர்ணிப்பு

குறுக்கலையை வர்ணித்ததைப் போல, சீரிசையியக்கத்திலுள்ள ஒரு நெட்டலையை வரைபடத்தால் வர்ணிக்க இயலாது. ஏனெனில், நெட்டலையில் துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சி அலை பரவும் கோட்டிலேயே ஏற்படுகிறது. ஆகவே, குறுக்கலையில் காட்டியது போல் துகள்களின் இடமாற்றங்களை வரைபடத்தால் குறித்தால், அலை பரவும் திசையில் ஒரு நேர்க்கோடுதான் கிடைக்கும்.

ஆனால், சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள நெட்டலையை வர்ணிக்க ஒரு சிறந்த முறையுள்ளது. இம் முறை, அலையின் பல பகுதிகளின் நிலையைத் தெளிவாகக் காட்டும்.

ஓர் ஊடகத்தில் AB என்னும் திசையில் செல்லும் நெட்டலையை எடுத்துக்கொள்வோம். அலையில், துகள்கள் AB

திசையில் சீரிசை இயக்கத்தில் செயல்படும். அலையிலுள்ள ஒரு துகள் ஒரு முழு அலையை முடிக்கும் நேரத்தில் ஒலி ஆற்றல் *AB* தூரம் செல்லும். ஊடகத்தில் *A* என்னுமிடத்திலுள்ள



படம் 8

ஒரு துகள் நடுநிலையிலிருந்து இடப் பக்கம் பெரும அளவு நகர்ந்து, *A*-க்குத் திரும்பி, பெரும அளவு வலப் பக்கம் நகர்ந்து கடைசியாக நடுநிலையை அடைந்து ஓர் அலையை முடித்து, திரும்பவும் இடப் பக்கம் செல்ல இருக்கின்றது. இத் தருணத்தில் *A*-க்கும், *B*-க்கும் இடையிலுள்ள பல்வேறு துகள்களின் அசைவு நிலையையும், இடப்பெயர்ச்சியையும் ஆராய்வோம் :

A-யிலிருந்து $\frac{1}{4}AB$ தூரத்தில் *M* என்னும் புள்ளியிலுள்ள துகளை எடுத்துக்கொள்வோம். ஒலி ஆற்றல் *A*-ஐ அடைந்த T/4 காலத்திற்குப்பின் *M*-ஐ அடையும். ஆகையால், *M*-ன் அதிர்வு கட்டம் *A*-ஐவிட T/4 பின் தங்கியுள்ளது. ஆகவே, *M*-லுள்ள துகள் இடப் பக்கப் பயணத்தை முடித்து, பின் வலப் பக்கம் பெரும அளவு நகர்ந்து M_1 என்னும் புள்ளியை அடைந்துள்ளது. *A*-யிலுள்ள துகள் இடம் பெயராமலும், *M*-லுள்ள துகள் பெரும அளவு வலப் பக்கம் நகர்ந்தும், இரண்டிற்கும் இடைப்பட்ட துகள்கள் பல்வேறு அளவு வலப் பக்கம் நகர்ந்துமிருக்க வேண்டும். *M*-லுள்ள துகள் அசைவற்றும், *A*-யிலுள்ள துகள் மிகுந்த வேகத்தில் இடப் பக்கமும், இரண்டிற்குமிடையிலுள்ள துகள்களின் இடப் பக்க வேகம் சிறிது சிறிதாகக் குறைந்துமிருக்கும். இடப்பெயர்ச்சியிலிருந்து துகள்களின் முடுக்கத்தையும் கணக்கிடலாம். சீரிசை இயக்கத்தில் துகளின் முடுக்கம் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்திலும், இடப்பெயர்ச்சிக்கு எதிராகவும் உள்ளதை நாம் அறிவோம். ஆகையால் *A*-யிலுள்ள துகள் நடுநிலையில் இருப்பதால், அதன் முடுக்கம் சுழியாகும். *M*-பெரும அளவு வலப் பக்கம் நகர்ந்திருப்பதால், அது இடப் பக்கம் பெரும அளவு முடுக்கம் பெற்றிருக்கும். *A*-க்கும், *M*-க்கும் இடையிலுள்ள துகள்களின் முடுக்கம் இடப் பக்கம் நோக்கி கூடும்.

A-யிலிருந்து $\frac{1}{2}AB$ தூரத்தில் O-விலுள்ள துகளை ஒலி ஊக்கம் A-ஐ அடைந்தபின் T/2 நேரம் கழித்து அடையும். O-விலுள்ள ஒரு துகள் இடப்பக்கப் பயணத்தை முடித்து வலப்பக்கம் நகரும் தருவாயிலுள்ளது. O-விலுள்ள துகளின் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். ஆனால், அது வலம் நோக்கி மிகுந்த வேகத்தைப் பெற்றுள்ளது. O-க்கும் M-க்கும் இடைப்பட்ட துகள்கள் வலம் நோக்கி இடம் பெயர்ந்துள்ளன. M-லுள்ள துகளின் வேகம் சுழியாகவும், O-விலுள்ள துகளின் வேகம் வலப்பக்கம் மிகுந்துமுள்ளது. M-க்கும் O-க்கும் இடைப்பட்ட துகள்கள் வலம் நோக்கிப் படிப்படியாகக் கூடிய வேகத்தில் நகருகின்றன. M-லுள்ள துகளின் இடப்பக்க முடுக்கம் மிகுந்தும், O-விலுள்ள துகளின் முடுக்கம் சுழியாகவும் இருக்கும். இடையிலுள்ள துகள்களின் முடுக்கம் இடப்பக்கம் நோக்கிப் படிப்படியாகக் குறைந்து காணும்.

A-யிலிருந்து $\frac{3}{4}AB$ தூரத்தில் N என்னும் புள்ளியிலுள்ள துகளை ஒலி ஊக்கம் A-ஐ அடைந்தபின் 3T/4 நேரம் கழித்து அடையும். ஆகையால், N-ன் அதிர்வு கட்டம் A-ஐ விட $\frac{3}{4}$T பின் தங்கியிருக்கும். ஆகையால் N-லுள்ள துகள் இடப்பக்கம் மீயளவு இடம் பெயர்ந்து N_1 என்னும் புள்ளியை அடைந்துள்ளது. அதன் வேகம் சுழியாகும். O-N-க்கு இடைப்பட்ட துகள்களின் பெயர்ச்சி சுழியிலிருந்து அதிகரித்து மிகுந்த அளவை அடைகின்றது. O-விலுள்ள துகளின் வலப்பக்க வேகம் மிகுந்தும் N-லுள்ள துகளின் வேகம் சுழியாகவுமிருக்கும். இடைப்பட்ட துகள்களின் வலப்பக்க வேகம் N-லிருந்து குறைந்தும் காணப்படும். O-N பகுதியிலுள்ள துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சியை ஆராயுங்கால் துகள்களின் வலப்பக்கமான முடுக்கம் O-ல் சுழியாகவும் N-ல் மிகுந்தும் இருக்கக் காணலாம்.

B-ல் ஒலி ஊக்கம் A-ஐ அடைந்தபின் T நேரத்தில் அடைகின்றது. ஆகையால், B-யிலுள்ள துகளின் அதிர்வு நிலை A-ல் உள்ள துகளின் அதிர்வு நிலையுடன் ஒத்துள்ளது. இவ்வாறு B-யிலுள்ள துகள் நடு நிலையினின்று இடப்பக்கம் நகருகின்றது. இடைப்பட்ட துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சி இடப்பக்கமாக N-ல் கூடியும் B-ல் சுழியாகவும் குறைந்து செல்லும். இப் பகுதியிலுள்ள துகள்களின் வேகம் இடப்பக்கமாக B-ல் மிகுந்தும் N-ல் சுழியாகவும் கூடிச் செல்லும்.

N-B-யிலுள்ள பல்வேறு துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சியை ஆராயுங்கால், துகள்களின் முடுக்கம் N-ல் மிகுந்தும், B-ல் சுழி

யாகக் குறைந்தும் செல்லும். இடப்பெயர்ச்சி இடப்பக்கம் நோக்கி இருப்பதால், முடுக்கம் வலப்பக்கம் நோக்கி இருக்கும்.

AB-ல் நிலைத்திருந்த ஒவ்வொரு துகளிலிருந்தும் அதன் இடப்பெயர்ச்சிக்குச் சமமாக AB-க்குச் செங்குத்துக் கோடுகள், வலப்பக்க இடப்பெயர்ச்சிக்காக மேல் நோக்கியும், இடப்பக்க இடப்பெயர்ச்சிக்காகக் கீழ் நோக்கியும் வரைவோம். செங்குத்துக் கோடுகளின் முடிவைச் சேர்த்து ஒரு வரைகோடு வரைந்தால், அது சைன் அல்லது கொசைன் வளைவைப்போல் இருக்கும். இதை நெட்டலையின் இடப்பெயர்ச்சி வளைவு எனலாம். இவ் வளைவு துகள்களின் உண்மை நிலையைக் காட்டாது. மாறாகத் துகள்களின் இடமாறா நிலையிலிருந்து அவற்றின் இடப்பெயர்ச்சியைக் குறிக்கும் வரைபடமாகக் கொள்ளுதல் மரபு. இது $AM_2 \; ON_2 \; B$ என்னும் அலை வளைவால் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இடப் பெயர்ச்சி வளைவின் பண்புகள்

இடப்பெயர்ச்சி வளைவு படத்திலிருந்து துகள்களின் உண்மை நிலை, வேகம், முடுக்கம் முதலிய பண்புகளைக் காணலாம்.

வீச்சு (Amplitude)

சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள துகள் நடுநிலைமை அல்லது இடமாறா நிலையிலிருந்து பெரும அளவு செல்லும் தூரத்திற்கு வீச்சு என்று பெயர். படத்தில் (7, 8) MM_1 அல்லது NN_1 வீச்சைக் குறிக்கும்.

அலை நீளம் (Wave length) λ

ஊடகத்தின் ஏதாவது ஒரு துகள் ஓர் அலையை முடிக்கும் நேரத்தில் ஒலி அலை செல்லும் தொலைவுக்கு அலை நீளம் என்று பெயர். படத்தில் (7, 8) AB என்னும் தொலைவு ஓர் அலை நீளம் ஆகும். இதை 'λ' எனக் குறிக்கின்றோம்.

படத்தில் A, B என்னுமிடத்திலுள்ள இரு துகள்களும் ஒரே திசையில் நகர இருக்கின்றன. அவை இரண்டும் ஒரே கட்டத்தில் உள்ளன. அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தூரம் அலை நீளமாகும். அதாவது, எந்த சமயத்திலும் ஒரே கட்டத்திலிருக்கும் அடுத்தடுத்த இரு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவே அலை நீளம் எனப்படும்.

அதிர்வு நேரம் (Period)

அலையிலுள்ள (சீரிசையியக்கத்திலுள்ள) ஒரு துகள் ஓர் அலையை முடிக்கும் நேரத்திற்கு அதிர்வு நேரம் என்று பெயர் (T).

இந்த நேரத்தில் அலை ஓர் அலை நீளத்தைக் கடக்கும்.

அதிர்வெண் (Frequency) n

துடிக்கும் ஒரு துகள் ஒரு விநாடியில் எத்தனை முறை துடிக்கிறதென்பதை அதிர்வெண் குறிக்கும். இது அதிர்வு நேரத்தின் தலைகீழ் மதிப்பால் பெறப்படும் $n = 1/T$.

அலை பரவும் வேகம் (ஒலி வேகம்)

ஓர் ஊடகத்தில் ஒலி அலை ஒரு விநாடியில் செல்லும் தொலைவிற்கு அலை பரவும் வேகம் என்று பெயர். இது ஊடகத்தின் தன்மைகளைப் பொருத்திருக்கும்.

ஒலி பரவுதலின் சமன்பாடுகள் (Equations of Sound Propagation)

ஒலி பரவும் ஊடகத்தின் துகள்கள் சீரிசை இயக்கம் பெறுகின்றன. அவற்றின் இயக்கத்தைக் கீழ்க்காணும் சமன்பாடுகளால் குறிக்கலாம். சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள துகள் t விநாடியில் செய்யும் இடப்பெயர்ச்சியை y என்று எடுத்துக் கொண்டால்,

$$y = a \sin(\omega t - \epsilon) \text{ ஆகும்}\ldots(1)$$

'a' இயங்கும் துகளின் வீச்சு, 'ω' கோண வேகம், ϵ கட்ட வேறுபாடு.

அலைவு நேரம் 'T' என்பதால் $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$\text{ஆகையால் } y = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \epsilon\right)\ldots(2)$$

2π ரேடியன் கட்ட வேறுபாடுள்ள இரு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு λ ஆனதால், கட்ட வேறுபாட்டை நீளத்தின் ஒரு பகுதியாகவும் குறிக்கலாம். x தொலைவிலுள்ள இரு துகள்களுக் கிடையேயுள்ள கட்ட வேறுபாடு

ϵ ஆனால், $\epsilon = \frac{2\pi}{\lambda} x$ ஆகும்

$$\text{எனவே, } y = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)\ldots(3)$$

$$= a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} \quad \frac{x}{\lambda}\right)\ldots(4)$$

$$= a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{\lambda} T\right)$$

$$= a \sin 2\pi n\left(t - \frac{x}{n\lambda}\right)\ldots \because \frac{1}{T} = n$$

ஆகையால், $y = a \sin 2\pi n\left(t - \frac{x}{c}\right)$...(5)

'n'—அதிர்வெண், C—ஒலி வேகம்.

அதே வேகத்தில் அதே அதிர்வெண்ணுடன் எதிர்த் திசையில் பரவும் ஒலி அலையின் சமன்பாடு

$y = a \sin(\omega t + \epsilon)$ எனக் குறிக்கப்படும்.

முன்னேறு அலைகளின் பகுப்பாய்வு (Analytical treatment of Progressive Waves)

ஒலி பரவும் ஊடகத்திலுள்ள துகள்கள் ஊக்கப்பட்டு நிலையான புள்ளியொன்றை மையமாகக் கொண்டு துடிக்குமே யொழிய, அலையினால் அடித்துக்கொண்டு போகப்படுவதில்லை. ஒவ்வொரு துகளும் பெரும இடப்பெயர்ச்சியை அடைந்த சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகே, அடுத்த துகள் அந் நிலையை அடைகின்றது. ஆனால், அவற்றின் வீச்சுகள் சமமாக இருக்கும். ஒடுக்கப்படாமலும் தடுக்கப்படாமலும் பரவும் அலைகளுக்கு முன்னேறு அலைகள் என்று பெயர்.

முன்னேறு அலைகளின் பண்புகள்

(அ) முன்னேறு அலைகள் பரவும் ஊடகத்தின் துகள்கள் நடுநிலைப்புள்ளியை மையமாகக் கொண்டு முன்னும் பின்னும் அல்லது மேலும் கீழும் துடிக்கும். ஒலி பரவும் திசைக்குச் செங்குத்தாகத் துகள்கள் துடித்தால், எழும் அலைகள் குறுக்கலைகள் எனப்படும். ஒலி பரவும் திசையிலேயே துகள்கள் துடித்தால் அலைகள் நெட்டலைகள் எனப்படும்.

(ஆ) துகள்கள் சீரிசை இயக்கத்தில் இயங்குகின்றன துகளின் இடப்பெர்ச்சியைக் குறிக்கும் $y=a \sin(\omega t - \epsilon)$ என்னும் சமன்பாட்டில் t-யின் மதிப்பு சுழியிலிருந்து T-க்குக் கூடும் பொழுது y-ன் மதிப்பைக் காண்போம்.

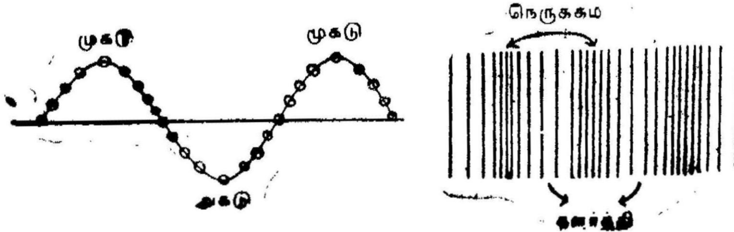
(i) $t = O$, இப்போது $y = a \sin(O - \epsilon)$
$= a \sin \epsilon$ ஆகும்.

(ii) $t = T/2$, இப்போது $y = a \sin(\pi - \epsilon)$
$= a \sin \epsilon$ ஆகும்.

(iii) $t = T$ ஆகும்பொழுது
$y = a \sin(2\pi - \epsilon)$
$= - a \sin \epsilon$ ஆகும்.

எனவே, ஓர் அதிர்வு நேரத்தில் y-ன் மதிப்பு $-a \sin \epsilon$-யிலிருந்து $+a \sin \epsilon$-க்கு மாறுகின்றது. இதிலிருந்து துகள் சீரிசை இயக்கத்தில் இயங்குகின்றது என்பது புலப்படும்.

(இ) ஊடகத்தின் துகள்கள் சைன் வளைவில் (sine curve) அமைகின்றன. $y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ என்னும் சமன்பாட்டில் x-ன் மதிப்பைச் சுழியிலிருந்து λ-க்குக் கூட்டும்பொழுது y-ன் மதிப்பு $a \sin \frac{2\pi}{T} t$-யிலிருந்து $-a \sin \frac{2\pi}{T} t$-க்கு மாறுகின்றது. ஆகையால், துகள்கள் சைன் வளைவு அமைப்பில் இடம் பெறுகின்றன. முன்னேறு குறுக்கலைகளில் துகள்களின் அமைப்பு முகடுகளாகவும் (crest), அகடுகளாகவும் (trough) தோற்றமளிக்கும். நெட்டலைகளில் துகள்களின் அமைப்பு நெருக்கங்களாகவும் (condensation), தளர்த்திகளாகவும் (அடர் குறைப்பு-rarefaction) தோற்றமளிக்கும்.



படம் 9

(ஈ) ஊடகத் துகள்களின் வேகம் : ஒலி பரவும் ஊடகத்தின் துகள்களின் வேகம் $v = \frac{dy}{dt}$ ஆகும்.

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{2\pi}{T} a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \quad \ldots(1)$$

இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் சரிவு $\frac{dy}{dx}$ (= Slope)

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{2\pi}{\lambda} a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \ldots(2)$$

(1)-ஐ (2)-ஆல் வகுக்க

$$\frac{dy/dt}{dy/dx} = \frac{\lambda}{T}$$

அதாவது, $\frac{\text{துகளின் வேகம்}}{\text{வளைகோட்டின் சரிவு}} = \lambda n \left(\because \frac{1}{T} = n \right)$

$= C$ (ஒலி வேகம்)... (3)

ஆகையால் துகளின் வேகம் = ஒலி வேகம் × வளைகோட்டின் சரிவு.

(உ) ஊடகத்தின் முடுக்கம் :

துகளின் முடுக்கம் $a = \frac{d^2y}{dt^2}$

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} = \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$\therefore \frac{dy}{dt} = \frac{2\pi}{T} a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right);$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \ldots(4)$$

இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் வளைவு = $\frac{d^2y}{dx^2}$

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2\pi}{\lambda} a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$\therefore \frac{d^2y}{dx^2} = -\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 . a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \ldots(5)$$

(4)-ஐ (5)-ஆல் வகுக்க

$$\frac{d^2y/dt^2}{d^2y/dx^2} = \frac{\lambda^2}{T^2}$$

அதாவது $\frac{\text{துகளின் முடுக்கம்}}{\text{வளைகோட்டின் வளைவு}} = \lambda^2 \times n^2 = c^2.$

= ஒலி வேகத்தின் இருமடி.

ஆகையால், துகளின் முடுக்கம் × = ஒலி வேகத்தின் இருமடி × வளைகோட்டின் வளைவு.

(ஊ) **முன்னேறு அலைகள் பரவும் ஊடகத்தின் ஆற்றல்:** ஒலி கடத்தும் ஊடகத்திற்கு மீட்சியியலும் (elasticity) அடர்த்தியும் (density) உண்டு. ஆகவே, ஒலி அலைகள் முன்னேறும்போது ஊடகத்தின் ஆற்றல், நிலை ஆற்றலாகவும் இயக்க ஆற்றலாகவும் இருக்கும். நிலை ஆற்றல் பெரும நிலையை அடையும்பொழுது, இயக்க ஆற்றல் சுழியாகவும், இயக்க ஆற்றல் பெரும நிலையை அடையும்பொழுது நிலை ஆற்றல் சுழியாகவும் மாறும். முழு ஆற்றல் (total energy) நிலை ஆற்றல் பெருமத்திற்கோ இயக்க ஆற்றல் பெருமத்திற்கோ சமம் ஆகும்.

ஒலி பரப்பும் ஊடகத்தில் 1 சதுர செ. மீ. பரப்பும், δx செ. மீ. நீளமுமுள்ள ஓர் உருளையை ஒலி பரவும் திசையில் எடுத்துக்கொள்வோம். ஊடகப் பொருளின் அடர்த்தி ρ ஆனால், இவ்வுருளையில் அடங்கிய பொருளின் நிறை $m = \rho\delta x$ ஆகும். இவ்வுருளையிலடங்கிய துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2} m \,(\text{துகள் வேகம்})^2$$

$$\text{அதாவது } K.E. = \frac{1}{2}\rho\delta x \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

ஆனால் $y = a \sin(\omega t - \epsilon)$

$$\therefore \quad \frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos(\omega t - \epsilon)$$

ஆகையால் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\rho\delta x\, a^2\omega^2 \cos^2(\omega t - \epsilon) \cos^2(\omega t - \epsilon)$ பெரும நிலையை அடையும்பொழுது, அதாவது $\cos(\omega t - \epsilon)$-இன் மதிப்பு 1 ஆக ஆகும்பொழுது, இந்த ஆற்றலும் பெரும அளவைப் பெறும் ஆகையால், இயக்க ஆற்றலின் பெருமம் $= \frac{1}{2}\rho a^2\omega^2\delta x$. எனவே, ஒரு கன சென்டிமீட்டரில் அடங்கிய ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\rho a^2\omega^2$. இதற்கு ஊடகத்தின் ஆற்றல் அடர்த்தி என்று பெயர்.

நாம் எடுத்துக்கொண்ட உருளையின் நீளம் λ ஆனால், ஊடகத்தில் ஓர் அலை நீளத்தில் அடங்கிய ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\rho a^2\omega^2\lambda$. ஒலி அலைகளுடனே ஆற்றல் ஓடுகிறதென்று எடுத்துக்கொண்டால், இந்த ஆற்றல் λ தொலைவு செல்ல எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் 'T' ஆகும். ஆகையால், 1 அலகு குறுக்கு வெட்டின் வழியே ஒரு வினாடியில் ஓடும் ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\rho\, a^2\,\omega^2\,\lambda/T$

$$= \frac{1}{2}\rho\, a^2\,\omega^2\,\lambda\, n$$

$$= \frac{1}{2}\rho\, a^2\,\omega^2\, C \text{ ஆகும்.}$$

இது ஊடகத்தின் ஆற்றலோட்டம் (Energy Current) எனப்படும். இதுவே ஒலியின் செறிவாகும் (Intensity of Sound).

$\omega = 2\pi n$ ஆனதால்), ஆற்றலோட்டம் $2\pi^2 n^2 \rho a^2 c$ ஆகும். எனவே, ஒலியின் செறிவு ஊடகத்தின் செறிவு, ஒலி வேகம் இவற்றின் நேர் விகிதத்தில் இருப்பதோடல்லாமல், வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலும், அதிர்வெண்ணின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலும் உள்ளது.

நிலையான அலைகள் (Stationary Waves)

சம வீச்சும் சம அதிர்வு நேரமும் கொண்டு எதிர்த் திசையில் பரவும் இரு முன்னேறு அலைகளின் சேர்க்கையை ஆராய்வோம். ஆர்கன் குழாயில் ஒரு முனையிலிருந்து செல்லும் நெட்டலையானது எதிர் முனையில் பிரதிபலிக்கப்பட்டுப் பின்னே திரும்பி வரும். அதனால் ஆர்கன் குழாயில் ஒரே வேகத்தில் எதிர்த் திசைகளில் செல்லும் இரு முன்னேறு அலைகள் கிடைக்கின்றன. அதேபோல் சோனாமீட்டரின் இரு குதிரைகளுக்கு (Bridges) இடைப்பட்ட கம்பியை மீட்டும்போது குறுக்கலைகள் உண்டாகின்றன. இவை கம்பியின் வழியே சென்று குதிரைகளில் மோதிப் பிரதிபலிக்கின்றன. இவ்வாறு சோனாமீட்டரிலும் சம வேகத்தில் எதிர்த் திசையில் செல்லும் ஒரே மாதிரியான இரு முன்னேறு அலைகள் கிடைக்கின்றன. இவ்வாறு பெறப்பட்ட முன்னேறு அலையும், பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலையும் ஒன்றோடொன்று பொருந்துகின்றன. அப்போது ஊடகத்தில் நிலையான அலைகள் உண்டாகின்றன. ஊடகத்தின் சில எல்லைக்குள் மட்டும் அடங்கி முன்னேறுந்தன்மையைப் பெற்றிருப்பதால், இந்த அலைகள் நிலையான அலைகள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. ஆர்கன் குழாயில் உண்டான நிலை அலைகள் நெட்டலையின் தன்மையையும், சோனாமீட்டரில் உண்டான நிலை அலைகள் குறுக்கலையின் தன்மையையும் பெற்றுள்ளன.

இந் நிலையலையைக்கொண்டு கடலின் ஆழத்தைக் காணலாம். செவியுணரா ஒலியலையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்க நிலையலையை லார்டு ராலே பயன்படுத்தினார்.

எதிர்த் திசையில் பரவும் ஒரே மாதிரியான இரு முன்னேறு அலைகளின் சமன்பாட்டை ஒன்று சேர்த்து நிலையலையின் சமன்பாட்டைப் பெறலாம்.

ஒரு முன்னேறு அலையை $y_1 = a \sin(\omega t - \epsilon)$ எனக் கொண்டால்,

பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலையை $y_2 = a \sin(\omega t + \epsilon)$ என்று கொள்ள வேண்டும்.

நிலையலையின் சமன்பாடு $y = y_1 + y_2$

அதாவது $y = a\sin(\omega t - \epsilon) + a\sin(\omega t + \epsilon)$

$y = 2a\cos\epsilon\sin\omega t$ ஆகும்.

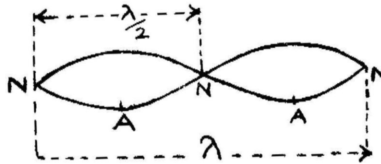
இதிலிருந்து நிலையலையும் சீரிசை இயக்கத்தைச் சேர்ந்தது எனப் புலப்படும். இச் சமன்பாட்டிலிருந்து நிலையலையின் பண்புகளைக் காணலாம்.

நிலையான அலைகளின் பண்புகள்

(அ) துகள்களின் வீச்சு: நிலையலையின் வீச்சு $2a\cos\epsilon$ ஆகும். இதில் தொடக்கத் துடிப்பு நிலையாகிய ϵ அடங்கியுள்ளது. இது துகளுக்குத் துகள் மாறுபடும். ஆகையால், ஊடகத்தின் துகள்களின் வீச்சுகள் மாறுபடுகின்றன. சில துகள்களின் வீச்சு சுழியாக இருக்கும். இவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலைவு $\lambda/2$ ஆகும். இத் துகள்கள் அசைவதேயில்லை. இவ்வசையாத் துகள்களிலிருந்து $\lambda/4$, $3/4\lambda$, $5/4\lambda$ தொலைவுகளில் உள்ள துகள்களின் வீச்சுகள் $2a$ ஆகும். இவையே பெரு மதிப்புடையனவாகும்.

(ஆ) நிலையலையின் சமன்பாடு $y = 2a\cos\epsilon\sin\omega t$ ஆகும். இதில் சீரிசை இயக்கத்தைக் குறிக்கும் குணங்கம் $\sin\omega t$ ஆகும். இக் குணங்கத்தில் தொடக்கக் கட்டமான ϵ இடம் பெற்றில்லையாதலால், துகள்கள் எல்லாம் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கும். எனவே, துகள்கள் எல்லாம் ஒன்றாக முழு இடப்பெயர்ச்சியடைந்து நடுநிலை இடத்திற்கு மீளும்.

(இ) இரு பக்கமும் இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்ட கம்பி ஒன்றை மீட்டினால், பார்வை நீடிப்பினால் (Persistence of Vision) தொடரான வளைவுகளும் (Loops), துண்டுகளும் (Ventral Segments) புலப்படும்.



படம் 10

N என்று குறிக்கப்பட்டுள்ள இடங்களிலுள்ள துகள்கள் துடிப்பதேயில்லை. இவ்விடங்களுக்குக் கணுக்கள் (Nodes) அல்லது இடப்பெயர்ச்சியில்லா இடம் என்று பெயர். A என்று குறிக்கப்பட்டுள்ள துகள்கள் பெரும அளவு துடிக்கின்றன. இவற்றிற்கு எதிர்க் கணுக்கள் (Antinodes) அல்லது பெரும இடப்பெயர்ச்சியுள்ள இடங்கள் என்று பெயர். முதல் கணுவுக்கும், மூன்றாவது கணுவுக்கும் இடையே இரு வளைவுகள் அடங்கியுள்ளன. இத் தொலைவு ஓர் அலை நீளத்திற்குச் சமமாகும். அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு கணுக்கள் அல்லது அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு எதிர்க் கணுக்கள் இவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலைவு அரை அலை நீளத்திற்குச் ($\lambda/2$) சமமாகும். ஒரு கணுவுக்கும் அதை அடுத்துள்ள எதிர்க் கணுவுக்குமிடையேயுள்ள தொலைவு கால் அலை நீளமாகும் ($\lambda/4$).

(ஈ) துடிக்கும் துகள்கள் யாவற்றிற்கும் அதிர்வு நேரம் சமம். இரு துகள்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு ஓர் அலை நீளமானால், அத் துகள்கள் யாவும் சம வேகமும், சம முடுக்கமும் கொண்டவையாயிருக்கும்.

(உ) **நிலை அலை பரவும் ஊடகத்தின் ஆற்றல் :** நிலையலை பரவும் ஊடகத்தில் ஒரு சதுர செ. மீ. குறுக்கு வெட்டும், δx செ. மீ. நீளமும் கொண்ட ஓர் உருளையை ஒலி பரவும் திசையில் எடுத்துக்கொள்வோம். இவ்வுருளையிலடங்கிய துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} m \times$ (துகள் வேகம்)^2

அதாவது இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\, \delta x\, \rho \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$

நிலையலையின் சமன்பாடு $y = 2\,a \cos \epsilon \sin \omega t$; இதை

$$y = 2\,a \cos \frac{\omega x}{c} \sin \omega t$$ என்று

எழுதலாம். ஆகையால் $\frac{dy}{dt} = 2\,a\omega \frac{\cos \omega x}{c} \cos \omega t.$

எனவே, இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\left(2\,a\,\omega \cos \frac{\omega x}{c} \cos \omega t\right)^2 \rho\, \delta x$

$$= \frac{1}{2}\, \rho\, \delta x\, 4\, a^2 \omega^2 \cos^2 \frac{\omega x}{c} \cos^2 \omega t$$

$\cos \omega t = 1$ ஆனால், இந்த ஆற்றல் பெரும அளவைப் பெறும்.

அதுவே மொத்த ஆற்றலாகும் (total energy). எனவே, மொத்த ஆற்றல் $= 2\rho\delta x a^2\omega^2 \cos^2 \frac{\omega x}{c}$. உருளையின் நீளம் ஓர் அலை நீளத்திற்குச் சமமானால், மொத்த ஆற்றல் $= \int_0^{\lambda/2} 2\rho\delta x a^2\omega^2 \cos^2 \frac{\omega x}{c}$

$$= \rho a^2\omega^2 \lambda \text{ ஆகும்.}$$

முன்னேறு அலை, நிலையலை இவற்றின் ஓர் அலை நீளத்திற்கான ஆற்றலை ஒப்பிடுவோமானால், நிலையலையின் ஆற்றல் முன்னேறு அலையின் ஆற்றலைப் போல் இரு மடங்காகும். ஒரே ஆற்றலையுடைய எதிர்த்திசையில் பரவும் இரு முன்னேறு அலைகளால் நிலை அலை ஆனதே இதற்குக் காரணமாகும். இதனால் நிலையலையின் ஆற்றலோட்டம் சுழியாகும்.

அலை வேகம், அலை நீளம் ஆகியவற்றின் தொடர்பு

சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள ஒரு துகள் ஒரு முறை துடிப்பதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தை T என்றும், இந்த நேரத்தில் ஒலி ஆற்றல் செல்லும் தொலைவை λ என்றும் குறிப்போம்.

T என்பது அலைவு நேரத்தைக் குறிப்பதால், 1/T அதிர்வு எண்ணைக் குறிக்கும் (*n*). ஏனெனில், ஒரு வினாடியில் ஏற்படும் மொத்த அதிர்வுகள் 1/T ஆகும்.

அதாவது $n = 1/T$.

துகளின் ஒரு துடிப்பில் ஒலி ஆற்றல் செல்லும் தொலைவு அலை நீளத்தைக் குறிக்கும். எனவே,

$$\text{அலை வேகம் } V = \lambda/T$$

$$\text{அதாவது, } V = \lambda n$$

ஆகையால்,

அலை வேகம் (V) = அலை நீளம் (λ) × அதிர்வெண் (*n*).

உதாரணங்கள்

(1) 512 அதிர்வெண்ணுடைய ஓர் இசைக்கவை 0·005 மீட்டர் வீச்சுடைய அலையை எழுப்புகிறது. அலையின் வேகம் வினாடிக்கு 350 மீட்டர் ஆனால், ஆற்றலோட்டத்தைக் கணக்கிடுக.

காற்றின் அடர்த்தி = 0·00129 கி. கிராம்/லிட்டர்

ஆற்றல் ஓட்டம் $= \frac{1}{2}\rho a^2 \omega^2 c$

$$\omega = 2\pi n$$

$\therefore$ ஆற்றல் ஓட்டம் $= \frac{1}{2} \rho a^2 (2\pi n)^2 c$

$= 2 \pi^2 n^2 \rho a^2 c$

$= 2 \pi^2 (512)^2 (0 \cdot 00129) (0 \cdot 005)^2 \times 350$

$= 58 \cdot 41$

$\therefore$ **ஆற்றல் ஓட்டம் = 58.41 ஜூல்/விநாடி.**

2. மாறாத அதிர்வெண்ணோடு அதிர்ந்துகொண்டிருக்கும் ஒரு பொருள் M என்னும் ஊடகத்தில் 0·16 மீட்டர் நீளமுள்ள அலைகளையும், N என்னும் ஊடகத்தில் 0·28 மீட்டர் நீளமுள்ள அலைகளையும் அனுப்புகிறது. M-ல் அலையின் வேகம் 80 மீட்டர்/விநாடி ஆனால், N-ல் அதன் வேகம் என்ன ?

$V = n\lambda$ என்னும் சமன்பாட்டின்படி,

M என்னும் ஊடகத்தில் $80 = n \times 0 \cdot 16$...(1)

N என்னும் ஊடகத்தில் வேகம் x ஆக இருக்கட்டும்.

எனவே, $x = n \times 0 \cdot 28$...(2)

(2)-ஐ (1)-ஆல் வகுக்க, $\frac{x}{80} = \frac{0 \cdot 28}{0 \cdot 16}$

$\therefore x = \frac{80 \times 28}{16}$

$= 140$

N-ல் அதன் வேகம் = 140 மீட்டர்/விநாடி.

வினாக்கள்

1. சீரிசை இயக்கம் என்றால் என்னவென்பதை விளக்குக.

2. அதிரும் துகளின் ஆரம்பக் கட்டம் என்றால் என்ன ? ஆரம்பக் கட்டம் சுழி, $\pi/2$, $-\pi/2$ உள்ள ஓர் அதிரும் துகளின் கால–இடப்பெயர்ச்சி வரைகோட்டை வரைக.

3. நெட்டலைகள், குறுக்கலைகள், முன்னேறு அலைகள், நிலையலைகள் இவற்றை விளக்கவும்.

4. முன்னேறு அலைகள், நிலையலைகள் இவற்றிற்கான சமன்பாட்டை எழுதுக. அந்த அலைகளின் பண்புகளைக் காணவும்.

5. ஒரு முன்னேறு அலையின் வீச்சு = 0·12 மீட்டர், அதிர்வெண் 12 ஹெர்ட்ஸ், அலை நீளம் = 0·72 மீட்டர். அலையின் சமன்பாட்டைக் காண்க.

6. சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள துகளின் ஆற்றல், அதன் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலும், அலைவு நேரத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருக்கிறது எனக் காண்பிக்கவும்.

3. சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு

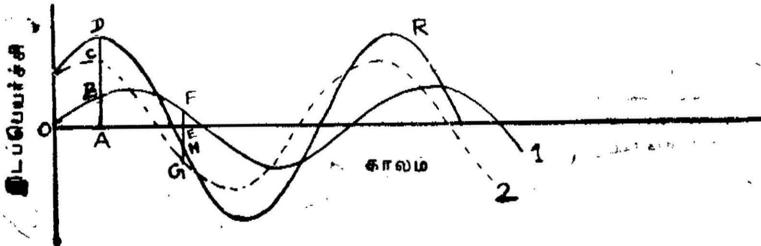
(Composition of Simple Harmonic Motions)

(அ) ஒரே திசையில் நிகழும் சம அதிர்வெண்ணுடைய இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு

சம அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியை எழுப்பும் இரு ஒலி மூலங்களினின்று எழும் ஒலி அலைகள் நேர்க்கோட்டில் சென்றால், சில இடங்களில் ஒரே கட்டத்தில் கூடி ஒலிச்செறிவு பெருமத்தை யும், சில இடங்களில் எதிர்க்கட்டத்தில் கூடி ஒலிச்செறிவு சிறு மத்தையும் ஏற்படுத்தும்; மற்ற இடங்களில் இடைப்பட்ட ஒலிச் செறிவைக் கொடுக்கும். எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலும், எப்பொழுதும் ஒலிச்செறிவு மாறாதிருக்கும். எனவே, ஒலி மூலங் களின் அதிர்வெண்கள் சமமாக இருக்குமானால், சில இடங்களில் பெரும ஒலியும் சில இடங்களில் சிறும ஒலியும் தொடர்ந்து கேட்கும். இதைப் பகுப்பாய்வு முறையாலும், வரைபடம் முறை யாலும் விளக்கலாம்.

வரைபட முறை விளக்கம்

இரு சீரிசை இயக்கங்களின் கால இடப்பெயர்ச்சி வளை கோடுகளை வளைகோடு 1, வளைகோடு 2 மூலம் குறிப்பிடுவோம். *OA* என்னும் காலத்தில் முதல் சீரிசை இயக்கத்தின் இடப் பெயர்ச்சி *AB* ஆகவும், இரண்டாவது சீரிசை இயக்கத்தின் இடப் பெயர்ச்சி *AC* ஆகவும் இருக்கும். ஆகையால், இவற்றின் தொகு



படம் 11

பயன் இடப்பெயர்ச்சியை $AB+AC=AD$ எனக் குறிப்பிடலாம். *OE* என்னும் மற்றொரு காலத்தில் முதல் சீரிசை இயக்கத்தின்

இடப்பெயர்ச்சி EF ஆகவும், இரண்டாவது சீரிசை இயக்கத்தின் இடப்பெயர்ச்சி எதிர்த் திசையில் EG ஆகவும் இருக்கும். இவற்றின் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி $EG-EF$ ஆகும். இதன் மதிப்பை EG திசையில் EH எனக் குறிப்போம். ஒவ்வொரு காலத்திற்கும் D, H போன்ற புள்ளிகளைக் கண்டு அவற்றை ஒரு வரைகோட்டால் இணைக்க, தொகுபயனின் கால இடப்பெயர்ச்சி வளைகோடு கிடைக்கும் (R). இது தாய்ச் சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்ணையே கொண்ட ஒரு சைன் வளைவாகும். இரு இடப்பெயர்ச்சிகளின் கூட்டுத்தொகை தொகுபயனைக் குறித்தால் பெரும ஒலிச் செறிவையும், இரு இடப்பெயர்ச்சிகளின் வித்தியாசம் தொகுபயனைக் குறித்தால் சிறும ஒலிச் செறிவையும் கொடுக்கும். இவ்வாறாகச் சம அதிர்வெண்ணுடைய இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுபயன் விளைவு சில இடங்களில் பெரும ஒலியையும் சில இடங்களில் சிறும ஒலியையும் தொடர்ந்து எழுப்பும்.

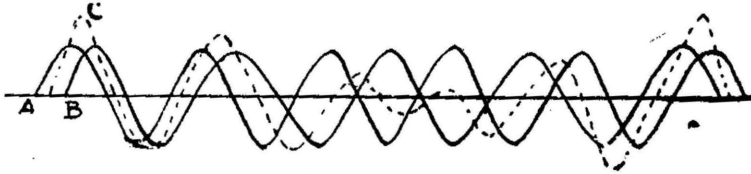
இரு சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்கள் சிறிது மாறுபடுமானால், தொகுபயன் விளைவே வேறாகும். அதாவது தொகுபயன் ஒலியின் செறிவு சீராக இல்லாமல் ஓங்கியும், தாழ்ந்தும் இருக்கும். அதாவது ஒலிச்செறிவு அடுத்தடுத்துப் பெரும நிலைக்கு உயர்ந்து சிறும நிலைக்கு இறங்கும். இந்த நிகழ்ச்சிக்கு விம்மல்கள் (Beats) என்று பெயர். இதன் விளக்கத்தைக் காண்போம்.

(ஆ) ஒரே திசையில் நிகழும் அதிர்வெண்கள் சிறிது வேறுபட்டுள்ள சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு-விம்மல்கள்

ஒரே திசையில் நிகழும் இரு சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்கள் சிறிது வேறுபடுமானால், அவற்றின் தொகுபயனால் விளையும் ஒலி கால நிர்ணயப்படி உயர்ந்தும், தாழ்ந்தும் மாறுபடும். எனவே, ஒலிச்செறிவு அடுத்தடுத்துப் பெரும நிலைக்கு உயர்ந்து, பிறகு சிறும நிலைக்குக் குறையும். இந் நிகழ்ச்சிக்கு விம்மல்கள் (Beats) என்று பெயர். ஒலிச்செறிவு ஒரு பெரும நிலைக்கு உயர்ந்து அதற்கடுத்த சிறும நிலைக்குத் தாழ்வது ஒரு விம்மலைக் குறிக்கும்.

இவ் விம்மல் நிகழ்ச்சியைப் பின்னுள்ள வரைபடம் தெளிவாக விளக்கும். ஒரே திசையில் நிகழும் அதிர்வெண்கள் சிறிது வேறுபாடுடைய இரு சீரிசை இயக்கங்கள் செயல்படும் ஒரு துகளின் கால இடப்பெயர்ச்சி தொடர்ந்த கோட்டால் (A, B) வரைபடத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. தொகுபயன் தொடர்பற்ற கோட்டால் (C) காட்டப்பட்டுள்ளது. இரு முனைகளிலும் இரு அலைகளும் ஒரே கட்டத்தில் இருப்பதால், அலைவீச்சுகள் ஒன்றை

யொன்று வலுப்படுத்தித் தொகுபயன் ஒலி பெருமநிலைக்கு ஏறு வதைக் குறிக்கும். இடையில் இரு அலைகளும் எதிர்க் கட்டத்தில்



படம் 12

இருப்பதால், அவை ஒன்றையொன்று அழிக்க ஒலி சிறுமநிலைக்கு இறங்குவதைக் குறிக்கும். இங்கு ஒலிச்செறிவு குறைந்து காணும். ஒரு விநாடியில் ஏற்படும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை, இரு தாய்ச் சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண் வித்தியாசத்திற்குச் சமம் என்று நிரூபிக்கலாம்.

ஒரே திசையில் நிகழும் அதிர்வெண் சிறிது வேறுபாடு உள்ள இரு சீரிசை இயக்கங்களையும்

$$y_1 = a \sin (m+n)\, t \ldots(1) \text{ என்றும்,}$$

$$y_2 = b \sin (m-n)\, t \ldots(2) \text{ என்றும்}$$

குறிப்போம். a-யும், b-யும் சீரிசை இயக்கங்களின் வீச்சாகும். முதல் சீரிசை இயக்கத்தின் அலைவு நேரம் $= 2\pi/m+n$, அதாவது முதல் சீரிசை இயக்கத்தின் அதிர்வெண் $= m+n/2\pi$; அதேபோல் இரண்டாவது சீரிசை இயக்கத்தின் அதிர்வெண் $= m-n/2\pi$ ஆகும்.

ஆகையால் இரு அதிர்வெண்களின் வேறுபாடு

$$= \frac{m+n}{2\pi} - \frac{m-n}{2\pi}$$

$$= \frac{2n}{2\pi} \ldots \text{I.}$$

இரு சீரிசை இயக்கங்களும் ஒரே திசையில் நிகழ்வதால், அவற்றின் தொகுபயன் $y = y_1 + y_2$ ஆகும்.

அதாவது, $y = a \sin (m+n)t + b \sin (m-n)t$

$$= (a+b) \sin mt \cos nt + (a-b) \cos mt \sin nt \ldots(3)$$

இரு சீரிசை இயக்கங்களையும் ஒன்றாகத் தொகுத்தால் கிடைக்கும் தொகுபயன் இயக்கமும் சீரிசையாகத்தான் இருக்கும். ஆதலால்,

தொகுபயன் இயக்கத்தின் வீச்சை A என்றும், அலைவு நேரத்தை $2\pi/m$ என்றும் எடுத்துக்கொண்டால், தொகுபயனை $y = A \sin (mt+\phi)$ என்று எழுதலாம். ϕ என்பது கட்டமாகும்.

ஆகையால் தொகுபயன் $y = A \sin mt \cos \phi + A \cos mt \sin \phi$...(4) சமன்பாடுகள் 3-லும், 4-லும் ஒத்த உறுப்புகளைச் சமன் படுத்தினால், $A \cos \phi = a \cos nt + b \cos nt$...(5)

$A \sin \phi = a \sin nt - b \sin nt$...(6) ஆகும்.

இவற்றின் இருமடியின் கூட்டுத்தொகை

$$A^2 = a^2+b^2+2\,ab\,(\cos^2 nt - \sin^2 nt) \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore A^2 = a^2+b^2+2\,ab \cos 2nt \text{...(7) ஆகும்.}$$

(i) ஆரம்பத்தில், அதாவது $t=o$ ஆக இருக்கும்பொழுது

$$A^2 = a^2+b^2+2\,ab$$

ஆகையால் $A = a+b$ ஆகும். அதாவது தொகுபயன் வீச்சு, மூலங்களின் வீச்சுகளின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமம். ஒலி அதிகம் கேட்கும்.

(ii) $\frac{2\pi}{2n}$ நேரம் கழிந்து, அதாவது $t = \frac{2\pi}{2n}$ ஆக இருக்கும் பொழுது $A^2 = a^2+b^2+2\,ab$

$\therefore A = (a-b)$ ஆகும். அதாவது தொகுபயன் வீச்சு மூலங்களின் வீச்சுகளின் வித்தியாசத்திற்குச் சமம் ஆகும். ஒலி மிகக் குறைந்து விடும்.

(iii) $\frac{4\pi}{2n}$ நேரம் கழிந்து, அதாவது $t = \frac{4\pi}{2n}$ ஆக இருக்கும் பொழுது $A^2 = a^2+b^2+2\,ab$

$\therefore A = a+b$ ஆகும். மறுபடியும் ஒலி அதிகம் கேட்கும்.

இதிலிருந்து தொகுபயன் வீச்சு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கொரு முறை $(a+b)$ என்னும் மதிப்பிலிருந்து $(a-b)$ என்ற மதிப் பிற்கு மாறிக்கொண்டிருக்கின்றது என்பது புலனாகின்றது. இதற் கேற்ப ஒலிச்செறிவும் மாறிக்கொண்டிருக்கும். அதிர்வு நேரம் $\frac{2\pi}{2n}$ ஆகும். ஆகையால் அதிர்வெண் மதிப்பு, அதாவது வினாடிப் பொழுதில் கேட்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை

$$\frac{2n}{2\pi} \text{ ஆகும்...II.}$$

முடிவு I, முடிவு II இவை இரண்டையும் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும் பொழுது ஒரு வினாடியில் கேட்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை தாய்ச் சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்களுக்குள்ள வித்தியாசத்திற்குச் சமம் என்பது தெளிவு.

மேலும் சமன்பாடு 6-ஐ, சமன்பாடு 5-ஆல் வகுக்க

$$\frac{A \sin \phi}{A \cos \phi} = \frac{(a-b) \sin nt}{(a+b) \cos nt}$$

அதாவது $\tan \phi = \dfrac{a-b}{a+b} \tan nt$ ஆகும்.

இதிலிருந்து ϕ-யின் மதிப்பு t-யின் மதிப்பைச் சார்ந்துள்ளது என்பது விளங்குகின்றது. ஆகையால், ϕ-யின் மதிப்பை kt என்று குறிப்பிடலாம். இது ஆரம்பத் துடிப்பு நிலையே தொகுபயனின் அதிர்வெண்ணையும் மாற்றக்கூடிய விந்தையான நிலையைக் குறிக்கும்.

எனவே, தொகுபயன் $y = A \sin (mt + kt)$ ஆகும்.

அதாவது $y = A \sin (m + k) t$ ஆகும்.

இதன் அதிர்வெண் மதிப்பு $\dfrac{m+k}{2\pi}$ ஆகும். இது சிறிய அதிர்வெண் $\dfrac{m-n}{2\pi}$-ஐவிடப் பெரிய அதிர்வெண் $\dfrac{m+n}{2\pi}$-ஐ நெருங்கியுள்ளது.

விம்மல் நிகழ்ச்சியைக் காட்சிப்படுத்துதல்

விம்மல்கள் தோன்றுவதைப் பலர் காணும் வகையில் நிகழ்த்திக் காட்டலாம். ஒரே விதமான இரு ஆர்கன் குழாய்களையும், ஓர் அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடரையும் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். ஆர்கன் குழாய்களை நெருக்கமாகவும், அவற்றின் வாய்கள் சுடரின் கொம்பைப் பார்த்திருக்குமாறும் வைத்து, ஒரே காற்றுப்பெட்டியால் இரு குழாய்களையும் இயக்க வேண்டும். ஒரு குழாயின் வாயருகில் ஒரு துண்டுக் காகிதத்தை வைத்து, ஒரு குழாயிலிருந்து எழும் ஒலியின் அதிர்வெண் மற்றொன்றிலிருந்து எழும் ஒலியின் அதிர்வெண்ணிலிருந்து சிறிது மாறுபட்டிருக்கும்படிச் செய்தால் விம்மல்கள் எழும். அரங்கில் கூடியுள்ள கூட்டத்தினர் இவ் விம்மல்களை எளிதாகக் கேட்கலாம். சுடர் உயர்ந்து தாழ்வதையும் காணலாம். அசிடிலின் வாயுவைச் சுடர் எரிபொருளாகப் பயன்படுத்தினால் நிகழ்ச்சி தெளிவாகத் தோன்றும்.

விம்மல்களின் பயன்கள்

இரு சுரங்களை ஒத்திசைவு செய்ய விம்மல்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. மேலும் அதிர்வெண் தெரிந்த ஓர் இசைக் கவையை அளவாகக் கொண்டு இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண் களைக் காணலாம்.

செங்குத்துத் திசைகளில் நிகழும் இரு சீரிசை இயக்கங்களைத் தொகுத்தல்

சம அதிர்வெண்ணுடைய சீரிசை இயக்கங்கள்

செங்குத்துத் திசையில் நிகழும் சம அதிர்வெண்ணுடைய இரு சீரிசை இயக்கங்களை ஒரே சமயத்தில் ஒரு துகள்மீது செயல்படுத்தினால், அதனால் விளையும் இயக்கம் அவற்றின் கட்ட வேறுபாடுகளைப் பொருத்திருக்கும். விளையும் இயக்கம் பொது வாக நீள் வட்டமாகவும் (elliptical), சில சமயங்களில் வட்ட மாகவும் (circular), சில சமயங்களில் நேர்க்கோட்டியலாகவும் (rectilinear) இருக்கும்.

ஒரு சீரிசை இயக்கம் X அச்சுத் திசையிலும், மற்றொன்று Y அச்சுத் திசையிலும் நிகழ்வதாய்க் கருதுவோம். அவற்றை முறையே பின்கண்ட சமன்பாடுகளால் குறிப்பிடலாம் :

$$x = a \sin \omega t \ldots (1)$$

$$y = b \sin (\omega t + \theta) \ldots (2)$$

a, b என்பன இரு இயக்கங்களின் வீச்சுகளாகும். $\omega/2\pi$ என்பது அவற்றின் அதிர்வெண்; θ என்பது இரு இயக்கங்களுக்கு மிடையேயுள்ள கட்ட வேறுபாடு.

மேற்கண்ட சமன்பாடுகளை $x/a = \sin \omega t$ என்றும்,

$y/b = \sin (\omega t + \theta)$ என்றும்

எழுதலாம். ஆகையால் $y/b = \sin \omega t \cos \theta + \cos \omega t \sin \theta$

$$= \frac{x}{a} \cos \theta + \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \sin \theta$$

அதாவது $\dfrac{y}{b} - \dfrac{x}{a} \cos \theta = \left(1 - \dfrac{x^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}} \sin \theta$ ஆகும்.

இரு பக்கங்களையும் இருமடியாக்க

$$\left(\frac{y}{b} - \frac{x}{a} \cos \theta\right)^2 = \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right) \sin^2 \theta \text{ ஆகும்.}$$

அதாவது $\frac{y^2}{b^2}+\frac{x^2}{a^2}\cos^2\theta-\frac{2xy}{ab}\cos\theta = \sin^2\theta-\frac{x^2}{a^2}\sin^2\theta$

ஆகையால் $\frac{y^2}{b^2}+\frac{x^2}{a^2}-\frac{2xy}{ab}\cos\theta = \sin^2\theta$ ஆகும்...(3).

(i) இரு இயக்கங்களுக்கிடையே துடிப்பு நிலை வேறுபாடு இல்லையென்றால்,

அதாவது $\theta = 0$ ஆனால், $\sin 0 = 0, \cos 0 = 1$ ஆகும்.

ஆகையால் $\frac{y^2}{b^2}+\frac{x^2}{a^2}-\frac{2xy}{ab} = 0$ ஆகும்.

அதாவது $(y/b-x/a)^2 = O \therefore y/b - x/a = 0$

$\therefore y = (b/a)\, x$

இது ஒரு நேர்க்கோட்டின் சமன்பாடு. வரைகோட்டின் சரிவு b/a. எனவே, தொகுபயன் இயக்கம் நேர்க்கோட்டியக்கமாகும். இது முதல் கால் வட்டத்திலும், மூன்றாவது கால் வட்டத்திலும் நிகழும்.

(ii) துடிப்பு நிலை வேறுபாடு $\theta = \pi/2$ ஆனால், $\cos\pi/2 = O$ $\sin\pi/2 = 1$. ஆகவே, சமன்பாடு 3-ன் மதிப்பு $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2} = 1$ ஆகும். இது நீள் வட்டத்தைக் குறிக்கும். இதன் அச்சுகள் படித்தர அச்சுகளுடன் இணைந்திருக்கும்.

(iii) துடிப்பு நிலை வேறுபாடு $\theta = \pi/2$ ஆக இருப்பதுடன் அல்லாமல் இரு மூல இயக்கங்களின் வீச்சுகளும் சமமாக இருந்தால், அதாவது $a = b$ என்றால், $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2} = 1$

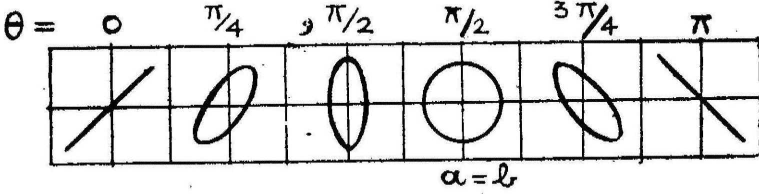
$\therefore x^2+y^2 = a^2$. இது வட்டத்துக்குரிய சமன்பாடாகையால், தொகுபயன் இயக்கம் அச்சுகளின் தொடக்கப் புள்ளியை மையமாகவும், ஆரத்தின் மதிப்பு a ஆகவும் கொண்டு அமையும் வட்டமாகும்.

(iv) துடிப்பு நிலை வேறுபாடு $\theta = \pi$ என்போம். $\cos\pi = -1$, $\sin\pi = O$. எனவே, சமன்பாடு 3-ன் மதிப்பு $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{2xy}{ab} = 0$ ஆகும் ஆகையால் $\left(\frac{x}{a}+\frac{y}{b}\right)^2 = 0$. எனவே, $y = -b/a\, x$ ஆகும்.

இது நேர்க்கோட்டியக்கத்தைக் குறிக்கும். சரிவு எதிர்த் திசை

யிலிருக்கும். இயக்கம் இரண்டாவது கால் வட்டத்திலும் நான் காவது கால் வட்டத்திலும் நிகழும்.

(v) மற்றெல்லாக் கட்ட வேறுபாடுகளுக்கும், தொகுபயன் இயக்கம் நீள் வட்டமாக அமையும். அதன் அச்சுகள் படித்தர அச்சுகளினின்று சாய்ந்திருக்கும் (படம் 13).



படம் 13

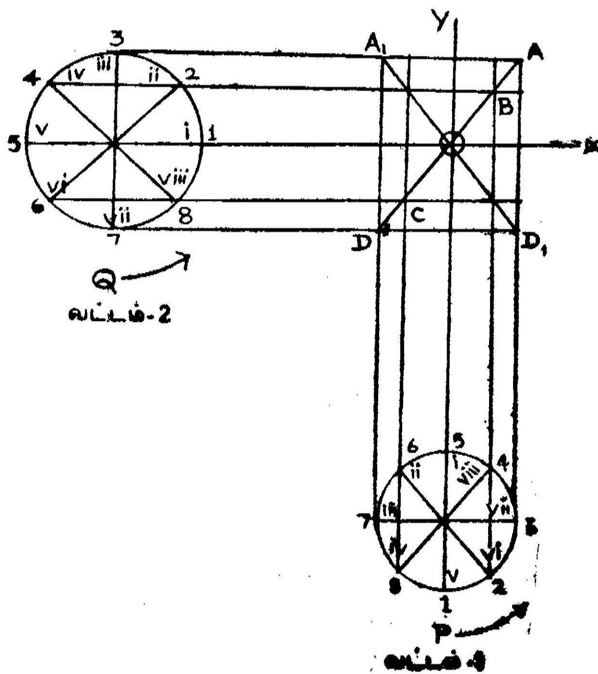
செங்குத்துத் திசைகளில் ஊசலாடிக்கொண்டிருக்கும் ஒரே நீளமுள்ள இரு கூட்டு ஊசல்களோடு இரு மெல்லிய தண்டுகளைக் கிடைமட்டமாக இணைத்து, மேற்கண்ட தொகுபயன் இயக்க வளைவுகளை வரையலாம். இவ்விரண்டு தண்டுகளையும் ஒன்றாக இணைக்கும் புள்ளியுடன் மையில் நனைத்த ஒரு புருசை இணைத்து ஒரு காகிதத்தின்மேல் நகர விட்டால், துடிப்பு நிலை வேறுபாடு களுக்கேற்ப, காகிதத்தில் வெவ்வேறு வரைபடங்கள் வரையப் படும். ஊசல்களை வெவ்வேறு நேரங்களில் ஆடவிட்டுக் கட்ட வேறுபாட்டை மாற்றலாம்.

வரைகோட்டு முறை (Graphical Method)

(அ) செங்குத்துத் திசையில் நிகழும் இரு சீரிசை இயக்கங் களின் தொகுப்பை வரைபடம் மூலம் காண்பது மிகவும் அறிவூட்டும் வகையில் இருக்கும். சம அதிர்வெண் உடைய இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பை வரைபடம்மூலம் காண்போம்.

இரு இயக்கங்களும் O என்னும் புள்ளியின்மீது ஏற்றப் படட்டும். X அச்சுத் திசையில் நிகழும் துடிப்புகளைத் தோற்று விக்கும் வட்டம் (Generating Circle) a ஆரமுள்ள வட்டம் 1-ஆல் குறிக்கப்படட்டும். y அச்சுத் திசையில் நிகழும் துடிப்பு களைத் தோற்றுவிக்கும் வட்டம் b ஆரமுள்ள வட்டம் 2-ஆல் குறிக்கப்படட்டும். முதல் வட்டப் பரிதியில் P என்னும் துகளும், இரண்டாம் வட்டப் பரிதியில் Q என்னும் துகளும் ஒரே கோணத் திசை வேகத்தில் இடஞ்சுழியாகச் செல்லட்டும்.

எந்தத் துகளின்மீது இந்த இரு சீரிசை இயக்கங்களும் ஒரே சமயத்தில் ஏற்றப்படுகின்றனவோ, அந்தத் துகள் ஆரம்பத்தில் O என்னுமிடத்திலிருக்கிறது. பிறகு ஒவ்வொரு கணத்திலும் அதன் இடத்தை உருவாக்கும் வட்டங்களில் இரண்டு துகள்களும் உள்ள இடத்திலிருந்து இரு அச்சுகளின்மீதும் செங்குத்துக் கோடுகள் வரைந்து கண்டுகொள்ளலாம். இரு செங்குத்துக் கோடுகளும் சந்திக்குமிடம் துகளின் தொகுப்பு இடமாகும். P என்னும் துகள் முதல் வட்டத்தில் முதலிடத்திலிருக்கும்பொழுது X அச்சில் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். Q என்னும் துகள் இரண்டாம் வட்டத்தில் முதலிடத்திலிருக்கும்பொழுது Y அச்சில் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். இது இரு சீரிசை இயக்கங்களும் ஒரே துடிப்பு நிலையிலுள்ளதைக் குறிக்கின்றது. முதல் வட்டத்தில் 2, 3, 4 என்னும் இடங்களை P என்னும்

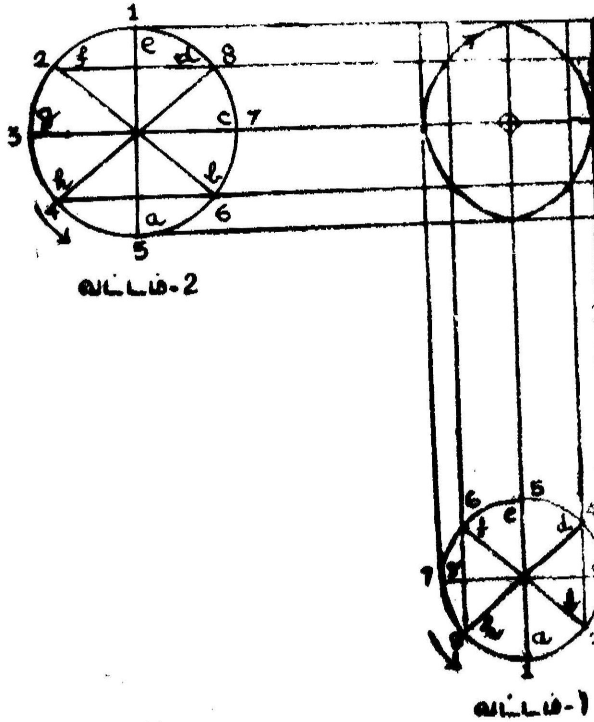


படம் 14

துகள் அடையும்பொழுது, இரண்டாம் வட்டத்தில் Q என்னும் துகள் 2, 3, 4 என்னும் இடங்களை அடைய, தொகுபயன் இடப்

பெயர்ச்சி *OB*, *OA*,...*OC*, *OD* இவற்ருல் பெறப்படும். இவை யெல்லாம் *ABOCD* என்னும் நேர்க்கோட்டில் அமைந்து, அக் கோடு திரும்பத் திரும்ப வரையப்படும்.

இரு சீரிசை இயக்கங்களின் கட்டங்கள் உருவாக்கும் வட்டங்களில் அவற்றின் ஆரம்ப இடங்களினுல் குறிக்கப் படுகின்றன. எனவே, துடிப்பு நிலை π அளவு மாறுபட்டால், உதாரணமாக, *X* அச்சின் இயக்கம் π அளவு முன்னின்ருல், முதல் வட்டத்தில் ஆரம்ப இடத்தை (1) என்னும் புள்ளியி லிருந்து குறிக்க வேண்டும். இப்போது தொகுபயன் விளைவு A_1 OD_1 என்னும் நேர்க்கோட்டால் பெறப்படுகின்றது (படம் 14).



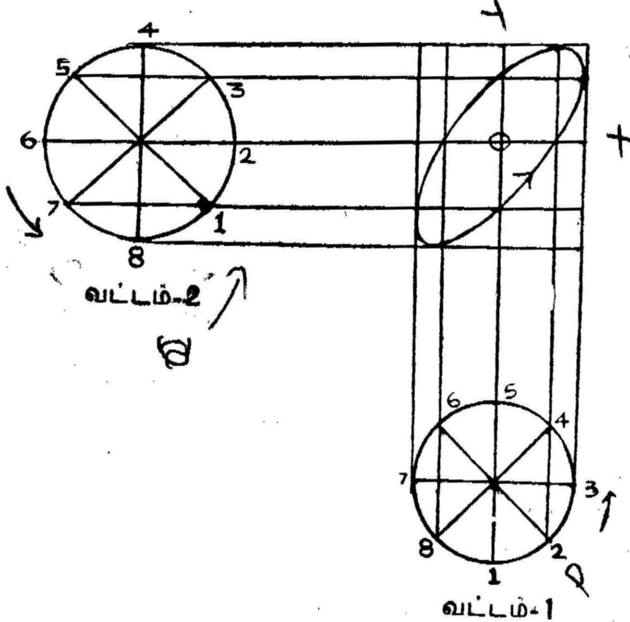
படம் 15

(ஆ) கட்ட வேறுபாடு π/2 ஆக உள்ள இரு சீரிசை இயக்கங் களின் வரைபடத் தொகுபயன் படம் 15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. *Y* அச்சுத் திசையில் நிகழும் துடிப்பு *X* அச்சுத் திசைத் துடிப்பை

விட π/2 அளவு முன்பாக (phase lead) இருக்கும்பொழுது இரு வட்டங்களிலும் ஒப்புமை இடங்கள் 1, 2, 3 என்னும் எண்களால் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. தொகுபயன் நீள்வட்டமாக அமையும்.

Y அச்சுத் திசையில் நிகழும் துடிப்பு *X* அச்சுத் திசையில் நிகழும் துடிப்பைவிட π/2 அளவு பின்தங்கி (lag) இருக்கும் பொழுது ஒப்புமை இடங்கள் *a*, *b*, *c* என்னும் எழுத்துகளால் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. தொகுபயன் முன் கண்ட நீள் வட்டமே. ஆனால், இது கடிகாரச் சுற்றின் எதிர்த்திசையில் வரையப்படும் (படம் 15).

(இ) கட்ட வேறுபாடு π/4 அல்லது வேறு அளவுகளில் இருக்குமானால், இரு வட்டங்களிலும் ஒப்புமை இடங்கள் 1, 2, 3 என்னும் எண்களால் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. தொகுபயன் படத்தில் காட்டியிருப்பதைப் போல் அச்சுகளினின்று சாய்ந்துள்ள நீள் வட்டத்தினால் பெறப்படுகின்றது (படம் 16).

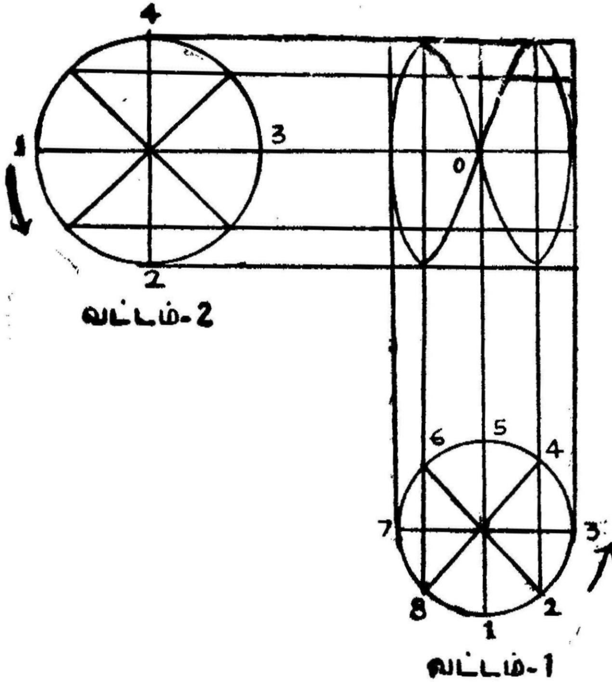


படம் 16

(ஈ) அதிர்வெண் விகிதம் 1:2

X அச்சுத் திசையிலும், *Y* அச்சுத் திசையிலும் நிகழும் சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்கள் 1 : 2 என்ற விகிதத்தில்

இருப்பதாகக் கொள்வோம். முதல் வட்டத்திலுள்ள துகள் ஒரு முறை சுற்றி வருவதற்குள் இரண்டாவது வட்டத்திலுள்ள துகள் இரு முறை சுற்றிவிடும். இரு இயக்கங்களும் ஒரே துடிப்பு நிலையில் உள்ளன. இரு வட்டங்களிலும் ஒப்புமை இடங்கள் 1, 2, 3 என்னும் எண்களால் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. தொகுபயன் படுக்கை எண் 8-ஐப் போன்றிருக்கும் (படம் 17).



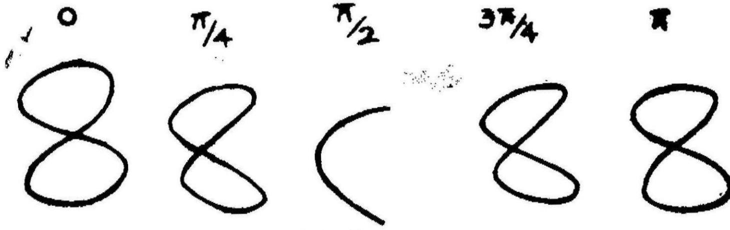
படம் 17

இவ்வாறாக வெவ்வேறு அதிர்வெண் விகிதத்திலுள்ள சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுபயன்களையும் வரைபடம் முறையில் கண்டுபிடிக்கலாம். பின் வரும் அட்டவணையில் இருவகை அதிர்வெண் விகிதத்தில் பல்வேறு துடிப்பு நிலை வேறுபாடு கொண்ட சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுபயன் வரைபடங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

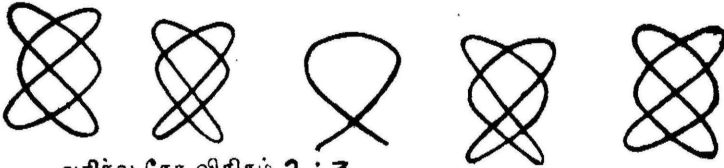
லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்கள் (Lissajous Figures)

செங்குத்துத் திசைகளில் நிகழும் இரு சீரிசை இயக்கங்களை ஒரே சமயத்தில் ஒரு துகள்மீது செயல்படுத்தினால், அதன் தொகு

பயன் இயக்கம் அவற்றின் அதிர்வு நிலை வேறுபாட்டைப் பொருத்திருக்கும் என்பதை முன்பு பார்த்தோம். அந்த இரு சீரிசை



அதிர்வு நேர விகிதம் 1:2



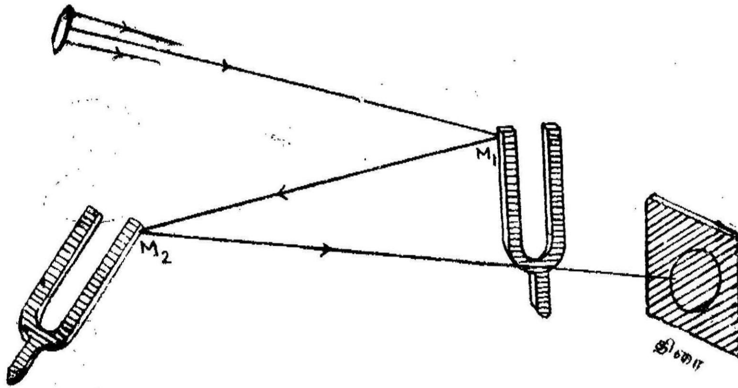
அதிர்வு நேர விகிதம் 2 : 3

படம் 18

இயக்கங்களின் அதிர்வெண்கள் சமமாகவும் இருக்கலாம், மாறுபட்டும் இருக்கலாம் (முழு எண் விகிதத்தில் இருத்தல் வேண்டும்). எப்படியிருந்தபோதிலும் அத்துகள் ஒரு வரைகோட்டை வரையும். வரைகோட்டின் உருவம் அவ்விரு சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வு நிலை வேறுபாட்டையும், அதிர்வெண் விகிதத்தையும் சார்ந்திருக்கும். இவ்வாறு பெறப்படும் வரைகோடுகளுக்கு 'லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்கள்' என்று பெயர். வரைகோட்டு முறையில் இவற்றைக் காணும் முறையை நாம் அறிவோம். இப் படங்களைக் கீழ்க்காணும் சோதனைகள் மூலமும் பெறலாம்.

(அ) **ஒளியியல் முறை:** இரு இசைக்கவைகளை எடுத்துக் கொள்வோம். ஓர் இசைக்கவையின் முள் ஒரு திசையிலும், மற்றொன்றின் முள் அதற்குச் செங்குத்தாகவும் அதிருமாறு அவற்றை அமைக்கவும். ஒரு கவை முள்ளில் ஒரு சிறு ஆடித் துண்டையும் (M_1), மற்றதன் முள்ளில் ஒரு சிறு ஆடித் துண்டையும் (M_2) ஒட்டி வைக்கவும். ஓர் ஒளிக்கதிர் M_1-ல் பிரதிபலித்து M_2-ல் விழுமாறு செய்ய வேண்டும். M_2-ல் பிரதிபலிக்கும் கதிரை ஏற்க ஒரு திரையை அமைக்கவும். குவிவில்லைகளின் உதவிகொண்டு திரையில் ஒரு புள்ளியில் ஒளியைக் குவிக்க

வேண்டும். இரு இசைக்கவைகளை இப்போது இயக்கினுல், திரையில் லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்கள் உருவாவதைக் காணலாம்.



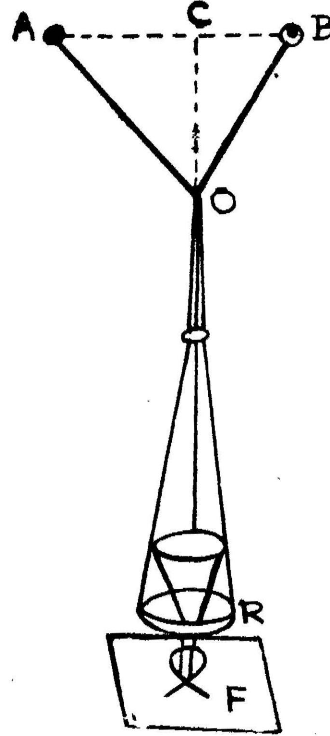
படம் 19

இசைக்கவைகளுக்குப் பதில் எஃகுத் தகடுகளைப் பயன் படுத்திஞல், தகடுகளின் அதிரும் நீளத்தை மாற்றி அதிர்வெண் விகிதங்களை மாற்றலாம். இந்த முறையில் பல வடிவங்களில் லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களை உருவாக்கலாம்.

(ஆ) **பிளாக்பர்ன்ஸ் ஊசல்** (Blackburns Pendulum) : ஓர் உறுதியான சட்டத்தில் *A, B* என்னும் முனைகளில் இரு நூல் களைக் கட்டி, அவற்றின் மறு முனைகளை ஒரு புள்ளியில் (*O*) இணைக்கவும். இவ்விணைப்பினின்று மூன்று நூல்களால் ஒரு காரீய வளையத்தைத் (*R*) தொங்க விடவும். வளையத்தின் மையத் தில் சிறு துவாரம் கொண்ட ஒரு புனலை அதன் தண்டு தரை மட்டத்தை ஒட்டி இருக்குமாறு அமைக்கவும். புனலில் நுண் ணிய காய்ந்த மணலை எடுத்துக்கொள்ளவும். இந்த அமைப்பு செங்குத்துத் தளங்களில் அலைவுறும் இரு தனி ஊசல்களுக்குச் சமமாகும். வளையமும் மணல்கொண்ட புனலும் ஊசல்களின் குண்டாகச் செயல்படுகின்றன. *OR* என்பது ஓர் ஊசலின் நீள மாகவும், *CR* என்பது மற்றோர் ஊசலின் நீளமாகவும் செயல் படுகின்றன. *OR* நீளமுள்ள ஊசல் புனலின்கீழ் ஒட்டப் பட்டுள்ள தாளின் தளத்திற்கு இணையாகவும், *CR* நீளமுள்ள ஊசல் தாளின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் அலைவுறும். இந்த அமைப்பை இயக்கிவிட்டால், ஊசல் அமைப்பு இரு செங்குத்துத் தளங்களில் அலைவுறும். புனலின் சிறு துவாரம் வழியே நுண் மணல் சீராய் வீழ்ந்து லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களின் (*F*) உருவில்

அமையும். நூலை வெவ்வேறு திசையில் இழுத்துவிட்டு வெவ் வேறு படங்களை வரையுமாறு செய்யலாம்.

(இ) எதிர் மின்கதிர் ஆசிலோ கிராப் முறை: எதிர் மின்கதிர் ஆசிலோ கிராப் முறையைக் கொண்டு அறிவூட்டும் வகையில் கட்புலனாகும் வியத்தகு லிஸ்ஸா ஜூஸ் படங்களை உருவாக்கிக் காட்டலாம். இரு செவியுணர் அலையியற்றிகளிலிருந்து சைன் வளைகோட்டுச் சிக்னல்கள் ஆசிலோ கிராபின் விலக்கத் தகடுகளில் ஏற்றப்படுகின்றன. ஓர் அலையியற்றியின் அதிர் வெண்ணை நிலையாக வைத்து, மற்றதன் அதிர்வெண்ணை மாற்றி அதிர்வெண் விகிதத் திற்கு ஏற்ப நாம் விரும்பும் வகையில் பல அமைப்புகளில் லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களை ஆசிலோ கிராபின் திரையில் உருவாகச் செய்யலாம்



படம் 20

லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களின் பயன்

ஒலியெழுப்பும் இரு அதிரும் பொருள்களுக்கிடையே உள்ள அதிர்வெண் விகிதத்தை லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களின் அமைப்பி லிருந்து சரியாகக் கணக்கிடலாம். ஆனால், லிஸ்ஸாஜூஸ் படங் களின் முக்கிய பயன், அதிர்வெண்களைத் துல்லியமாகக் கணக் கிடுதலேயாகும். அதிர்வெண்கள் கிட்டத்தட்ட சமமாயுள்ள இரு இசைக்கவைகளை எடுத்துக்கொள்வோம். ஓர் இசைக் கவையின் அதிர்வெண் மதிப்பு துல்லியமாய்த் 'தெரிந்திருக் கட்டும். ஒரு திரையில் லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களை உருவாக்கும் வகையில் இவ்விரு இசைக்கவைகளையும் அமைத்துக் கொள்ளவும். ஒரே மாதிரியான படம் இரு முறை உருவா வதற்கு இடைப்பட்ட நேரத்தை ஒரு கெடிகாரத்தைக் கொண்டு கண்டுகொள்வோம். இது T விநாடியானால், இசைக்கவை களின் அதிர்வெண் வேறுபாடு $1/T$ ஆகும். இதிலிருந்து மற்றதன்

அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம். இந்த முறையில் மாறுதிசை மின்னோட்டச் சிக்னல்களின் அதிர்வெண்களை மிகத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

தடையுரு அலைவுகளும், தடையுறு அலைவுகளும் (Free and Damped Oscillations)

தடையில்லாமல் முன்னேறும் அலைகளின் இடப்பெயர்ச்சி $y = a \sin \omega t$ என்னும் சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும் என்பதை நாம் அறிவோம்.

அலைகள் பாயும் ஊடகப் பொருளில் துகளின் வேகம்

$\frac{dy}{dt} = a\omega \cos \omega t$ ஆகும்.

துகளின் முடுக்கம் $\frac{d^2y}{dt^2} = -a\,\omega^2 \sin \omega t$

$$i.e.\ \frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y$$

ஓர் அலகு நிறையுள்ள அதிரும் துகளின் மீள்விசை

$$= \text{நிறை} \times \text{முடுக்கம்} = 1\ \frac{d^2y}{dt^2}$$

$$\text{எனவே,}\ \frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y$$

$$\text{ஆகையால்}\ \frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0 \ldots(1)$$

எனவே, தடையுருத அலை இயக்கத்தின் பகுவியல் சமன்பாடு (differential equation) $\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$ என்றாகும். தடையில்லாமல் அலை பரப்பக்கூடிய ஊடகம் ஒரு கற்பனையே. உண்மையில் எந்த ஓர் ஊடகத்திலும் காற்றோட்டம், உராய்தல் போன்ற பலவித விசைகளால் அலையியக்கம் தடைபடக் கூடும். இவை துகள்கள் அதிர்வதைத் தடை செய்ய முயல்கின்றன. எனவே, அதிரும் துகளின் வீச்சு சிறிது சிறிதாகக் குறைந்து, சிறிது நேரத்தில் அதன் அதிர்வே நின்றுவிடும். இவற்றிற்கு எதிர்க்கப்பட்ட அல்லது தடையுற்ற அலைவுகள் என்று பெயர். மீள்விசை, துகளின் வேகத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

எனவே, மீள்விசை $= -2k\ \frac{dy}{dt}$

$2k$ என்பது விகிதச் சம மாறிலி. ரிணக்குறி (Negative sign) மீள் விசையும் இயக்கத்திற்கெதிர்த் திசையிலிருக்கிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. எனவே, $\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y + 2k\frac{dy}{dt} = 0$ ஆகும்.

அதாவது தடையுற்ற அலையின் பகு சமன்பாடு

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2k\frac{dy}{dt} + \omega^2 y = 0 \ldots(1)$$

என்று குறிக்கப்படும். இதிலிருந்து y-யின் மதிப்பைக் காணலாம்.

தடையுறு அலையின் பகு சமன்பாடு $\frac{d^2y}{dt^2} + 2k\frac{dy}{dt} + \omega^2 y = 0 \ldots(1)$

இதனின்று y-யின் மதிப்பை $y = e^{\lambda t}$ என்று எழுதலாம்.

$$\text{ஆகையால் } \frac{dy}{dt} = \lambda e^{\lambda t}, \frac{d^2y}{dt^2} = \lambda^2 e^{\lambda t}$$

இம் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு 1-ல் ஈடு செய்ய

$$\lambda^2 e^{\lambda t} + 2k\lambda e^{\lambda t} + \omega^2 e^{\lambda t} = 0 \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \quad \lambda^2 + 2k\lambda + \omega^2 = 0$$

எனவே,

$$\lambda = \frac{-2k \pm \sqrt{4k^2 - 4\omega^2}}{2}$$

$$\lambda = -k \pm \sqrt{k^2 - \omega^2} \ldots(2)$$

k-ன் மதிப்பைப் பொருத்து y-யின் மதிப்பு அமையும்.

(i) $k^2 > \omega^2$

$$\lambda_1 = -k + \sqrt{k^2 - \omega^2}$$

$$\lambda_2 = -k - \sqrt{k^2 - \omega^2}$$

$$\text{ஆகையால் } y = Ae^{-\lambda_1 t} + Be^{-\lambda_2 t} \ldots(3)$$

A, B இரண்டும் மாறிலிகள். t-ன் மதிப்பு சூழியாக இருந்தாலும், எண்ணிலியாக இருந்தாலும், y-யின் மதிப்பு ஒரே திசையிலிருக்குமென்று சமன்பாடு (3)-லிருந்து விளங்கும். மேலும் t-ன்மதிப்பு எப்படியிருந்தாலும் y-யின் மதிப்பு திசை மாறுவதில்லை. ஆனால் t-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும்பொழுது, y-யின் மதிப்பு குறைகிறது. ஆகவே, இயக்கம் அலைவாக இருக்க வேண்டியதற்

குரிய முதல் நிபந்தனைக்குள்படவில்லை. இது பெரிதும் தடையுற்ற அலையென்பதும், சிக்கிரம் அழிந்து விடுமென்பதும் பொருள் படும்.

(ii) $k^2 > \omega^2$

இப்போது $k^2 - \omega^2$ ரிணக் குறியுடையதாகும். ஆகையால், $\omega^2 - k^2 = p^2$ என்று எடுத்துக்கொள்வோம். எனவே,

$$\lambda_1 = -k - + jp$$

$\lambda_2 = -k - jp$ ஆகும். j என்பது $\sqrt{-1}$

ஆகையால் $y = Ae^{\lambda_1 t} + Be^{\lambda_2 t}$ ...(4)

λ_1, λ_2 இவற்றின் மதிப்பை முன்போல் கணக்கிடலாம். இயக்கம் தொடங்கும் தருவாயில், அதாவது $t = o$ ஆக இருக்கும்பொழுது இடப்பெயர்ச்சி பெரும மதிப்புடையதாக இருக்கும் வீச்சு a-க்குச் சமம். ஆகையால் $a = Ae^0 + Be^0$

அதாவது $a = A + B$

ஆரம்பத்தில் துகளின் வேகம் சுழியாகும், எனென்றால், துகள் கடைசியிலிருப்பதால், அது அசையாமல் இருக்கும்.

சமன்பாடு 4-லிருந்து $\frac{dy}{dt} = \lambda_1 Ae^{\lambda_1 t} + \lambda_2 Be^{\lambda_2 t} = O$

எனவே, $\lambda_1 A + \lambda_2 B = O$

அல்லது $\lambda_1 A + \lambda_2 (a - A) = O$

$$A(\lambda_1 - \lambda_2) + \lambda_2 a = O$$

ஆகையால் $A = \frac{\lambda_2 a}{\lambda_1 - \lambda_2}$ ஆகும்.

எனவே, $y = \frac{\lambda_2 a}{(\lambda_2 - \lambda_1)} e^{\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1 a}{(\lambda_2 - \lambda_1)} e^{\lambda_2 t}$

$$= \frac{a}{(\lambda_2 - \lambda_2)} \left[\lambda^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t} \right]$$

$$= \frac{a}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \left[\lambda_2 e^{(-k + jp)t} - {}_1\lambda^{e(-k - jp)t} \right]$$

$$= \frac{ae^{-kt}}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \left[\lambda_2 e^{jpt} - \lambda_1 e^{-jpt} \right]$$

$$= \frac{ae^{-kt}}{-k - jp + k - jp} \left[\lambda_2 e^{jpt} - \lambda_1 e^{-jpt} \right]$$

$$= \frac{a\,e^{-kt}}{-2jp}\left[\lambda_2 e^{jpt} - \lambda_1 e^{-jpt}\right]$$

$$= a_0\, e^{-kt}\left[\lambda_2 e^{jpt} - \lambda_1 e^{-jpt}\right] \quad -\frac{a}{2jp} = a_0 \text{ என்க.}$$

ஆகையால் $y = a_0\, e^{-kt}\cos(pt-\delta)\ldots(5)$

இதுவே தடையுற்ற அலைவின் சமன்பாடாகும். தடையுற்ற அலைவின் வீச்சு $a_0 e^{-kt}$ ஆகும். இது காலத்தின் எதிர் அடுக்குக் குறி சார்பாயுள்ளது (inverse exponential funcion of time). இதனின்று காலம் அதிகரிக்கும்பொழுது வீச்சு குறைகின்றது என்பது புலனாகும். வீச்சு சிறிது சிறிதாகக் குறைந்து இறுதியில் சுழியாகும். அதனால் ஒலி விரைவில் அடைங்கிவிடும் என்பது தெளிவு. இந்த இயக்கத்தின் அதிர்வெண் $(\sqrt{\omega^2-k^2})/2\pi$ ஆகும். இதற்குத் தடையுற்ற அலைவியக்கத்தின் 'இயற்கை அதிர்வெண்' என்று பெயர்.

திணிப்பு அலைவுகள் (Forced Oscillations)

முன் பிரிவில் கண்டது போன்ற தடையுற்ற அலைவியக்கம் ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். மீள் தன்மையுடைய ஊடகப் பொருளுக்கு ஒலி அலைகளைத் தடை செய்யும் குணம் உண்டென்பதை நாம் அறிவோம். தடை செய்யும் விசையைத் தொடர்ந்து ஈடு செய்யக்கூடிய சீரிசையியக்கப் புறவிசை ஒன்றை ஊடகப் பொருள்மீது சுமத்தினால், மேற்கூறிய தடையூற்றை அழிக்கலாம். அப்பொழுது துகள்கள் புறவிசையின் அதிர்வெண்ணையே ஏற்றுக்கொண்டு அந்த அதிர்வெண்ணுடனே அலைவுறும். ஒலியும் தொடர்ந்து காக்கப்படும். இப்பொழுது துகள்களின் அலைவுகள் கட்டுப்பாட்டிற்கு உட்படுத்தப்பட்டதாகக் கருதப்படுகின்றன.

$\frac{n}{2\pi}$ அதிர்வெண்ணும், F வீச்சுமுடைய சீரிசை இயக்க இயந்திரப் புறவிசை (mechanical force) ஒன்று ஊடகப் பொருளின்மீது ஏற்றப்படுவதாகக் கொண்டால், கட்டுப்பாட்டிற்கு உட்படுத்தப்பட்ட அதாவது திணிப்பு அலைவுகளின் பகுவியல் சமன்பாடு

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2k\frac{dy}{dt} + w^2y = F\sin nt\ldots(1) \text{ ஆகும்.}$$

இதனால் விளையும் இயக்கம் $\frac{n}{2\pi}$ என்ற அதிர்வெண்ணுள்ள

சீரிசை இயக்கமாகும். இதற்கேற்ப y-யின் மதிப்பை $y = A \sin (nt - \phi)$...(2) என்று எழுதலாம். இதில் A என்பது இயக்கத்தின் வீச்சாகும்.

ஆகையால் $\frac{dy}{dt} = An \cos (nt - \phi)$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -An^2 \sin (nt - \phi)$$

இம் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு - 1-ல் ஈடு செய்தால், $-An^2 \sin (nt - \phi) + 2k\,An \cos (nt - \phi) + \omega^2 A \sin (nt - \phi) = F \sin nt$ ஆகும். $\sin nt$, $\cos nt$ இவற்றின் எண்களைத் தனித்தனியே சமன் படுத்த

$$-An^2 \cos \phi + 2kAn \sin \phi + \omega^2 A \cos \phi = F$$

அல்லது $A (\omega^2 - n^2) \cos \phi + 2kAn \sin \phi = F$...(3)

$$An^2 \sin \phi + 2k\,An \cos \phi - \omega^2 A \sin \phi = 0$$

அல்லது $-A (\omega^2 - n^2) \sin \phi + 2k\,An \cos \phi = 0$...(4)

சமன்பாடுகள் (3), (4) இவற்றின் இருமடிகளைக் கூட்ட

$$A^2 (\omega^2 - n^2)^2 + 4k^2\,{}^2A^2n^2 = F^2$$

$$\therefore A = F / [(\omega^2 - n^2)^2 + 4k^2n^2]^{\frac{1}{2}} \text{...(5)}$$

மேலும் (4)-லிருந்து $\tan \phi = \frac{2kn}{(\omega^2 - n^2)}$...(6)

இதிலிருந்து $\sin \phi = 2kn / [(w^2 - n^2)^2 + 4\,k^2n^2]^{\frac{1}{2}}$ ஆகும்.

எனவே, $A = \frac{F \sin \phi}{2kn}$

ஆகையால் $Y = \frac{F \sin \phi}{2kn} \sin (nt - \phi)$ ஆகும்...(7)

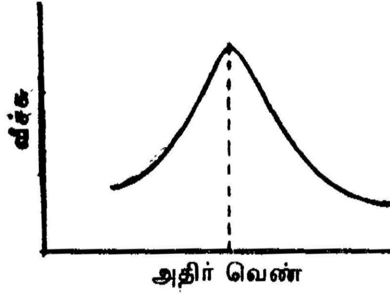
இது (7) திணிப்பு அலைவுகளின் பகுவியல் சமன்பாட்டைக் குறிக்கும்.

திணிப்பு அலைவுகளின் வீச்சைச் சமன்பாடு 5-லிருந்தும், கட்ட வேறுபாட்டைச் சமன்பாடு 6-லிருந்தும் பெறலாம்.

ஒத்திசைவு (Resonance)

அதிரும் துகள்களுக்கு உதவியாக, அவற்றின் அலைவைக் காக்க ஏற்றப்படும் புறவிசையின் அதிர்வெண்ணைச் சிறுகச்

சிறுக அதிகரித்தால், திணிப்பு அலைவு இயக்கத்தின் வீச்சு படத்தில் கண்டபடி அதிகரிக்கும். அதனால் துகள்களை அடக்கிய



படம் 21

ஊடகப் பொருளின் ஆற்றலும் அதிகரிக்கும். $\omega = n$ ஆகும் பொழுது ஆற்றல் உச்ச நிலையை அடையும். இந் நிலையில் இயக்கத்தின் வீச்சும் பெருமமாக இருக்கும். அதன்பின் வீச்சு, படத்தில் காட்டியுள்ளதைப் போல் குறையும். துகள்களின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமான அதிர்வெண்ணுடைய $(\omega = n)$ புறவிசையை அவற்றின்மீது ஏற்றி, அவற்றின் ஆற்றலை உச்ச நிலைக்கு அதிகரிக்கும்பொழுது ஏற்படும் நிகழ்ச்சிக்குத்தான் ஒத்திசைவு (Resonance) என்று பெயர்.

ஊடகப் பொருளில், ஒலி பரவும் திசையில், ஓர் அலகு நீளமும், ஓரலகு பரப்பும் உள்ள ஓர் உருளையைக் கற்பனை செய்தோமானால், அவ்வுருளையிலுள்ள துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்

$$K.E = \tfrac{1}{2}\rho\,\delta x \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$ என்பதை நாமறிவோம்.

முன் பிரிவில் நாம் கண்டபடி, திணிப்பு அலைவுகளின் பகுவியல் சமன்பாடு $y = \dfrac{F \sin \phi}{2kn} \sin (nt - \phi)$ ஆகும்.

இதிலிருந்து $\dfrac{dy}{dt} = \dfrac{F \sin \phi}{2k} \cos (nt - \phi)$

ஆகவே, இயக்க ஆற்றல் $= \tfrac{1}{2}\rho\,\delta x \left(\dfrac{dy}{dt}\right)^2$

$$= \tfrac{1}{2}\rho\,\delta x \frac{F^2 \sin^2 \phi}{4k^2} \cos^2 (nt - \phi)$$

இதன் பெரும மதிப்பு $= \frac{1}{2} \rho \delta x \frac{F^2 \sin^2 \phi}{4 k^2}$

ஆகவே, உருளையில் அடங்கிய ஆற்றலின் மொத்த மதிப்பு

$$= \frac{1}{2} \rho \delta x \frac{F \sin^2 \phi}{4 k^2}$$

$\sin \phi = 1$ ஆகும்பொழுது, இந்த மொத்த ஆற்றல் பெரும நிலையை அடையும்.

ஆகவே, இயக்கத்தின் ஆற்றல் பெரும நிலையை அடையும் பொழுது $\phi = 90°$ ஆகும்.

ஆகையால் $tan\ \phi = \infty$

ஆனால் $tan\ \phi = \frac{2\ kn}{\omega^2 - n^2}$ என முன் கண்டுள்ளோம்.

எனவே $\frac{2kn}{\omega^2 - n^2} = \infty$

அதாவது $\omega^2 - n^2 = 0$

ஆகையால் $\omega = n$

இதிலிருந்து $\omega/2\pi$-க்குச் சமமான துகள்களின் தன்னியல் அதிர் வெண்ணும், $n/2\pi$-க்குச் சமமான புற விசையின் அதிர்வெண் ணும் சமம் என்பது புலப்படுகின்றது. இப்பொழுது வெளிவரும் ஒலியின் ஆற்றல் உச்ச நிலையில் இருக்கும். ஒலி புற விசையுடன் ஒத்திருக்கும். இதை இசைவு செய்யப்பட்டது (Tuned) என்று கருதுகிறோம். இதுவே ஒத்திசைவின் பண்பு. இப்பொழுது ஒலியும் காக்கப்படுகின்றது. புற விசையின் அதிர்வெண் சிறிது மாறுபட்டாலும், ஒத்திசைவும் பாதிக்கப்படும்.

சமச் சீரான அதிர்வுகளும், சமச் சீரில்லா அதிர்வுகளும் (Symmetric and Asymmetric Vibrations)

இதுவரை நாம் ஆராய்ந்த தடையில்லா அதிர்வுகள், திணிப்பு அலைவுகள் எல்லாம் சமச் சீரான அதிர்வுகளாகும். இவற்றி லெல்லாம் துகள்களை இயக்கும் மீள்விசைகள் இடப்பெயர்ச்சி களின் முதல் மடி விகிதத்திலிருப்பதாக எடுத்துக்கொண்டோம். குறிப்பிட்ட இடப்பெயர்ச்சிகளைச் சார்ந்த மீள்விசைகளின் மதிப்பு இடப்பெயர்ச்சிகளின் திசைகள் மாறினாலும், மாறுவ தில்லை. உதாரணமாக,

$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y$ என்ற சமன்பாட்டை எடுத்துக்கொண்டால்,

$\frac{d^2y}{dt^2} \propto +y$ ஆகும்.

இடப்பெயர்ச்சியின் திசை மாறினுல், y என்பது $-y$ ஆகும். அப்பொழுது $\frac{d^2y}{dt^2} \propto -y$. அதனுல் மீள்விசையின் மதிப்பு மாறுவதில்லை.

ஆனுல், பல் கூட்டதிர்வுகளில் (Complex Harmonic Vibrations) மீள்விசைகள், இடப்பெயர்ச்சிகளின் முதல் மடி மதிப்புகளை மட்டுமல்லாமல், இருமடி, மும்மடி (second power, third power) மதிப்புகளையும் சார்ந்திருக்கும். உதாரணமாக,

$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y - ky^2$ என்பது ஒரு பல் கூட்டதிர்வின் சமன்பாடு. இதில் y^2 இருப்பதால், y-யின் திசை மாறும் பொழுது

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2(-y) - k(-y)^2$$
$$= \omega^2 y - ky^2$$

இதில் மீள்விசையின் மதிப்பு மாறுகிறது. எனவே, இவ் வகைப் பல் கூட்டதிர்வுகளில் மீள்விசையின் திசை, மதிப்பு இரண்டுமே மாறுகின்றன. இது போன்ற அதிர்வுகள், அதாவது ஒரே இடப்பெயர்ச்சிக்கு, துகள் எதிர்த்திசையில் நகரும்பொழுது, மீள் விசையின் மதிப்பு மாறுமானுல், அவை சமச் சீரற்ற அதிர்வுகள் எனப்படும். இதற்குச் சிறந்த உதாரணம் நம் காதின் சவ்வு (drum) ஆகும்.

ஆனுல், மீள்விசையின் சமன்பாட்டில் y-யின் முதல் மடி மதிப்புடன் மும்மடி மதிப்பு மட்டும் கலந்திருந்தால், உதாரணமாக

$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y - ky^3$ என்னும் சமன்பாட்டில் இடப்பெயர்ச்சியின் மதிப்பு $(-y)$ ஆனுல்,

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2(-y) - k(-y)^3$$
$$= \omega^2 y + ky^3.$$

இப்பொழுது இடப்பெயர்ச்சியின் திசை மாறியிருக்கிறதே யொழிய, மீள்விசையின் மதிப்பு மாறவில்லை. எனவே, இச் சமன்பாடு சமச்சீர் அதிர்வுகளைக் குறிக்கும்.

உதாரணங்கள்

(1) அதிர்வெண் 256 உள்ள ஓர் இசைக்கவையும், அதை ஒட்டிய அதிர்வெண்ணுள்ள மற்றோர் இசைக்கவையும் லீஸ்ஸா ஜூஸ் படங்களை உருவாக்க அமைக்கப்பட்டுள்ளன. படங்கள் 50 விநாடியில் ஒரு முன்ற சுற்றி முடிக்கின்றன. குறைவான அதிர்வெண்ணுடைய கவையை நிறையேற்றி, அதன் அதிர்வெண்ணைக் குறைக்க, படங்கள் 20 விநாடியில் ஒரு சுற்று முடிக்கின்றன. இரண்டாவது கவையின் அதிர்வெண்ணைக் காண்க.

இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண் வித்தியாசம் $= \frac{1}{50} = 0{\cdot}02$.

எனவே, இரண்டாவது கவையின் அதிர்வெண் 256·02 அல்லது 255·98.

நிறையேற்றிய பின் இரு இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண் வித்தியாசம் $\Big\} = \frac{1}{20} = 0{\cdot}05$.

எனவே, இரண்டாவது கவையின் அதிர்வெண் 256·05 அல்லது 255·95 நிறையேற்றினால் அதிர்வெண் குறையும். ஆகையால், இரண்டாவது கவையின் அதிர்வெண் = **255·98** ஆகும்.

(2) சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள ஒரு துகளின் திசை வேகம் விநாடிக்கு 0·25 மீட்டர் இருக்கும்பொழுது அதன் இயக்க ஆற்றல் 10,000 எர்க்ஸ். அதன் இடப்பெயர்ச்சி 0·1 மீட்டர் ஆகும்பொழுது அதன் நிலையாற்றல் 1000 π^2 எர்க்ஸ். சீரிசை இயக்கத்தின் அலைவு நேரத்தைக் கணக்கிடுக.

$$\frac{\text{இயக்க ஆற்றல்}}{\text{ஓரலகு திசை வேகம்}} = \frac{10000}{(0{\cdot}25)} = 4 \times 10^4$$

$$\frac{\text{நிலையாற்றல்}}{\text{ஓரலகு இடப்பெயர்ச்சி}} = \frac{1000\,\pi^2}{0{\cdot}1} = 10^4\pi^2$$

$$\text{அலைவு நேரம்} = \left[\frac{\text{இயக்க ஆற்றல்/ஓரலகு திசை வேகம்}}{\text{நிலையாற்றல்/ஓரலகு இடப்பெயர்ச்சி}}\right]^{\frac{1}{2}} \times 2\pi$$

$$= 2\pi\left[\frac{4 \times 10^4}{10^4\,\pi^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2\pi \times \frac{2}{\pi}$$

$$= 4$$

∴ சீரிசை இயக்கத்தின் அலைவு நேரம் = **4 விநாடிகள்.**

வினுக்கள்

1. கிட்டத்தட்ட சம அதிர்வெண்களையுடைய இரு இசைக் கவைகள் ஒலிக்கும்பொழுது உண்டாகும் விம்மல்களுக்கான சமன்பாட்டைக் காணவும்.

2. ஒரே அதிர்வெண்ணுடன் செங்குத்துத் திசைகளில் நிகழும் இரு சீரிசை இயக்கங்கள் ஒரு துகளின்மீது ஏற்றப்படு கின்றன. துகளின் தொகுபயன் விளைவை விளக்கிக் கூறவும்.

3. தடையுரு அலைவுகள், தடையுறு அலைவுகள், திணிப்பு அலைவுகள் இவற்றை வரையறுக்க.

4. ஒரு தடையுற்ற இயக்கம், ஒரு சீரிசை இயக்கத்திற்கு உட்படுத்தப்படுகின்றது. திணிப்பலைவின் வீச்சு, திசை வேகம் ஆகியவற்றிற்கான கோவைகளைப் பெறவும்.

5. ஒலியியலில் ஒத்திசைவு என்னும் பதத்திற்கு விளக்கம் தருக. அதன் உபயோகங்களென்ன? ஒத்திசைவிற்கான நிபந் தனைகளைப் பெறவும்.

6. லிஸ்ஸாஜூஸ் வரைபடங்கள் என்ருல் என்ன? அவற்றை எப்படிப் பெறலாம்? அவற்றின் பயன்கள் யாவை?

7. இரு இசைக்கவைகளின் இயற்கை அதிர்வெண்கள் 256, 512. அதிக அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவையின் அதிர் வெண் சற்றுக் குறைக்கப்படுகின்றது. இந் நிலையில் இவ்விரு கவைகளையும் பயன்படுத்தி லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்கள் வரைந்ததில், படங்கள் 48 விஞடிகளில் 5 முறை சுற்றி முடிக்கின்றன. குறை வுற்ற அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடுக [511·8].

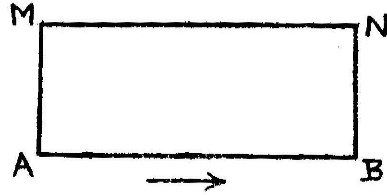
8. கிட்டத்தட்ட சம அதிர்வெண்களுடைய *A*, *B* என்னும் இரு இசைக்கவைகளைக் கொண்டு லிஸ்ஸாஜூஸ் படம் வரையும் பொழுது, படம் 25 விஞடிகளில் ஒரு முறை சுற்றி முடிக்கின்றது. கவை *A*-ஐ நிறையேற்றி, அதன் அதிர்வெண்ணைச் சிறிது குறைக்க, படம் 40 விஞடிகளில் ஒரு முறை சுற்றி முடிக்கின்றது. *B*-யின் அதிர்வெண் 128 ஆனுல், *A*-யின் அதிர்வெண்ணைக் காண்க [128·04].

4. அலை வேகம்

திட, திரவப் பொருள்களில் நெட்டலையின் வேகம்

(Velocity of Longitudinal Waves in Solids and Liquids)

திட, திரவப் பொருள்கள் இரண்டிலும் நெட்டலையின் வேகத்தைக் காண ஒரே முறையைப் பின்பற்றலாம். இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்ட ஒரு கயிற்றில் குறுக்கலையின் வேகத்தைப் பேராசிரியர் டெய்ட் கணக்கிடப் பயன்படுத்தும் முறையை (பக்கம் 59) உவமையாகக் கொண்டு, நெட்டலையின் வேகத்தை வாயுப் பொருளில் காண்போம். ஆதாரமான முறைகள் யாவற்றிலும் சுருக்கமும், எளிமையும் உடையதென இம் முறையைப் பேராசிரியர் பார்ட்டன் குறிப்பிடுகிறார்.



படம் 22

AB என்னும் திசையில் *C* அலகு வேகத்தில் செல்லும் ஓர் ஒலி அலையை எடுத்துக் கொள்வோம். ஊடகத்தில் ஓரலகு குறுக்கு வெட்டுள்ள *AB NM* என்னும் உருளையைக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் *A*-யில் சாதாரண அழுத்த நிலையும், *B*-யில் தளர்ந்த நிலையும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். மேலும், ஒலி பரவும் திசையின் எதிர்த் திசையில் *C* அலகு வேகத்திலேயே ஊடகமும் நகரும்படிச் செய்தால் *AB NM* என்னும் பகுதியில் ஒலி அலைகள் நிலைத்து நிற்கும். இந் நிலையில் ஊடகத்தின் துகள்களின் வேகம், இடப்பெயர்ச்சி, ஊடகத்தின் அழுத்த நிலை, அடர்த்தி முதலியன *AB NM*-ன் ஒவ்வொரு பகுதியிலும் மாறுபட்டிருக்கும். *A*-யின் தளப் பகுதி சாதாரண அழுத்த நிலையிலிருப்பதால் ஊடகத்தின் இப் பகுதியிலுள்ள துகள்கள் தமக்கென ஒரு வேகத்தைப் பெற்றிரா. ஆனால், ஊடகத்தின் எதிர் சலனத்தால் (motion) ஒவ்வொரு வினாடியும் *C* கன அளவு துகள்கள் *AM*-ன் வழியே *AB NM*-லிருந்து வெளியேறும். அடர் குறைந்த *B* பகுதியிலுள்ள துகள்களின் வேகம் வலம் இருந்து இடம் நோக்கி

யிருக்கும். இத் துகள்களின் வேகம் ஊடகத்தின் வேகத்தின் சேர்க்கையால் அதிகரித்து C_1 ஆகும். ஆகையால் C-ஐ விடக் கூடுதலான C_1 கன அளவுள்ள துகள்கள் ஒவ்வொரு விநாடியும் **BN** வழியே **AB NM**-னுள் புகும்.

AB NM-ல் உள்ள அழுத்தமும் அடர்த்தியும் மாறாதிருப்பதால், இப் பகுதியலடங்கிய ஊடகத்தின் நிறை (Mass) மாறாதிருக்கும். எனவே, **AM** வழியே ஒரு விநாடியில் வெளியேறும் ஊடகத்தின் நிறை, **BN** வழியே ஒரு விநாடியில் உட்புகும் ஊடகத்தின் நிறைக்குச் சமமாகும். ஆகையால், ஊடகத்தின் **A**-யில் அடர்த்தி ρ ஆகவும், **B**-யில் அடர்த்தி ρ_1 ஆகவும் இருக்குமானால், $C\rho = C_1 \rho_1 \ldots (1)$ ஆகும்.

ஆகையால், $C_1 = C\rho/\rho_1 \ldots (2)$

AM, BN இவற்றை ஒரு விநாடியில் கடக்கும் ஊடகத்தின் நிறை ஒன்றாக இருந்த போதிலும், அவற்றின் வேக மாறுபாட்டினால் அவை வெவ்வேறு உந்தத்தைப் (Momentum) பெற்றிருக்கும். **AB NM**-னால் **BN** வழியே ஒரு விநாடியில் பெறப்பட்ட உந்தம் $C_1\rho_1 \cdot C_1 = C_1^2\rho_1$ ஆகும்; **AM** வழியே இழக்கப்பட்ட உந்தம் $C\rho . C = C^2\rho$ ஆகும். ஆகையால், ஒரு விநாடியில் அப் பகுதி பெறும் உந்த இலாபம் $C_1^2\rho_1 - C^2\rho$.

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதியின்படி **AB NM**-ன் உந்த லாபம் ஊடகத்தின் அந்த அடுக்கில் இயங்கும் புறவிசைக்குச் சமமாகும். உருளையின் குறுக்குவெட்டு ஓர் அலகானதால், உருளையின் இரு முனைக்குமுள்ள அழுத்த வேறுபாடு புறவிசைக்குச் சமமாகும். எனவே, **A**-யில் அழுத்தம் P ஆகவும், **B**-யில் அழுத்தம் P_1 ஆகவும் ஆனால் $P - P_1 = C_1^2\rho_1 - C^2\rho \ldots (3)$
(2)-லிருந்து C_1ன் மதிப்பை (3)-ல் இட,

$$P - P_1 = \frac{C^2\rho^2}{\rho_1} - C^2\rho$$

அதாவது $P - P_1 = C^2\rho\,(\rho/\rho_1 - 1) \ldots (4)$

A, B-யில் நிறையலகுக்கான பருமன் முறையே v, v_1 ஆனால்,

$\rho = 1/v,\ \rho_1 = 1/v_1$ ஆகும். ஆகையால் $\rho/\rho_1 = v_1/v$.

எனவே, $P - P_1 = C^2\rho\,(v^1/v - 1) = C^2\rho\left(\frac{v_1 - v}{v}\right)$ ஆகும்.

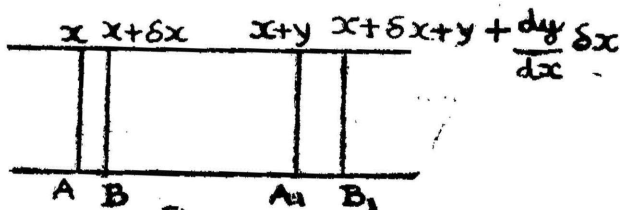
ஆகையால் $C^2 = (P - P_1)/\rho\left(\frac{v_1 - v}{v}\right)$

ஆனால் $(P-P_1)/\left(\frac{v_1-v}{v}\right)$ ஊடகத்தின் பரும மீட்சியியல் குணகம் E ஆகும்.
எனவே, $C^2=E/\rho$. ஆகையால் $C=\sqrt{E/\rho}$ ஆகும்.

மாற்று முறை

வாயுப்பொருளில் நெட்டலை பரவும் வேகத்தைப் பின்கண்ட முறையாலும் காணலாம். இம் முறை ஆயிலர் (Euler), லக்ராங்கே (Lagrange) ஆகியவர்கள் பின்பற்றிய முறையாகும்.

ஒலி செல்லும் ஊடகத்தில் அலைகள் பரவும் திசையில் ஒரு சதுர செ. மீ. குறுக்குப் பரப்பு உள்ள ஓர் உருளையை எடுத்துக்கொள்வோம். அருகருகேயுள்ள A,B என்னும் புள்ளிகளிலுள்ள இரு இணையான அடுக்குகளைக் கவனிப்போம்.



படம் 23

A, B இவற்றின் இடங்களை இடப் புறத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியிலிருந்து அளவிடுவோம். அப் புள்ளியிலிருந்து A,B இவற்றின் தொலைவுகள் X, $X+\delta X$ ஆக இருக்கட்டும். எனவே, A,B-யின் ஆயம் (Coordinate) X, $X+\delta X$ ஆகும். எனவே, AB-யின் நீளம் δX ஆகும். உருளையின் குறுக்குப் பரப்பு ஓர் அலகாகையால், AB-க்கு இடைப்பட்ட கீற்றின் (Slice) பருமன் δX ஆகும். அலைகள் உருளையின் X அச்சு வழியே வருவதால், ஒரு நெட்டலை வந்தால் A-யின் தளம் Y தொலைவு நகர்ந்து A_1-ஐ அடையும். நெட்டலையில் துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சியும், அலை பரவும் திசையும் ஒரே கோட்டில் இருப்பதால், A_1 தளத்தின் உண்மை இடம் $X+Y$ ஆயம் ஆகும். X திசையில் இடப்பெயர்ச்சியை Y குறிப்பதால், இடப்பெயர்ச்சி மாற்றத்தை dy/dx அளவிடும். எனவே, A,B தளங்களின் இடப்பெயர்ச்சி மாற்றம் $dy/dx \,.\, \delta x$ ஆகும்.

ஆகையால், B_1 தளத்தின் இடப்பெயர்ச்சி $= y + dy/dx \,.\, \delta x$ ஆகும்.

எனவே, B தளத்தின் உண்மை இடம் $= x + \delta x + y + dy/dx \cdot \delta x$ ஆகும்.

இதுவே $_1$ ஆகும். இவ்வாறாக AB ஆனது A_1B_1 ஆகும்போது A_1 $_1$-க்கு இடைப்பட்ட கீற்றின் நீளம் $\delta x + \frac{dy}{dx}\delta x$ ஆகும். உருளையின் குறுக்குப் பரப்பு ஓர் அலகாகையால், இடப்பெயர்ச்சியில் கீற்றின் பருமன் $\delta x + \frac{dy}{dx} \cdot \delta x$ ஆகும்.

கீற்றின் பரும மாற்றம் $= \delta x + \frac{dy}{dx} \cdot \delta x - \delta x = \frac{dy}{dx} \cdot \delta x$

எனவே, திரிபு (Strain) $= \dfrac{\text{பரும மாற்றம்}}{\text{மூலப் பருமன்}}$

$$= \frac{dy}{dx} \cdot \delta x / \delta x$$

$$= dy/dx$$

A தளத்தில் இயல்புக்கு மேற்பட்ட அழுத்த மிகுபாடு P ஆனால், உருளையின் குறுக்குப் பரப்பு ஓர் அலகாகையால், தகைவு = அழுத்த மிகுபாடு.

ஊடகத்தின் மீட்சிக் குணகம் $= \dfrac{\text{அழுத்த மிகுபாடு}}{\text{திரிபு}}$

$$E = (dy/dx)$$

ஆகையால் A தளத்தின் அழுத்த மிகுபாடு $P = -E\, dy/dx \ldots (1)$

B தளத்தில் இயல்புக்கு மேற்பட்ட அழுத்த மிகுபாடு

$$= p + dp/dx \cdot \delta x$$

$$= E\, dy/dx + \frac{d}{dx}(E\, dy/dx)\, \delta x$$

$$= E\, dy/dx + E \cdot d^2y/dx^2 \cdot \delta x \ldots (2)$$

சமன்பாடு (1), (2)-லிருந்து A தளத்தின் மேலுள்ள அடுத்த வேறுபாடு

$$E \cdot d^2y/dx^2 \cdot \delta x \text{ என்பதாகும்.}$$

உருளையின் குறுக்குப் பரப்பு ஓர் அலகானதால், AB கீற்றில் மேலுள்ள வாயுவில் இயங்கும் விசை $= E \cdot d^2y/dx^2 \cdot \delta x$

இயங்கும் வாயுவின் நிறை $= 1 \cdot \delta x \cdot \rho$ (வாயுவின் அடர்த்தி $= \rho$)

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதியின்படி

விசை = நிறை × முடுக்கம்.

$$E.d^2y/dx^2 .\delta x = 1.\delta x.\ \rho\ d^2y/dt^2 \left(\frac{d^2y}{dt^2} = \text{முடுக்கம்}\right)$$

ஆகையால், $E/\rho = d^2y/dt^2 / d^2y/dx^2$

$$E/\rho = \frac{\text{முடுக்கம்}}{\text{இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் வளைவு ஆரம்}}$$

— நெட்டலையின் பண்புகளிலிருந்து,

$$\frac{\text{முடுக்கம்}}{\text{இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் வளைவு ஆரம்}} = \text{ஒலி வேகத்தின் இருமடி} = C^2$$

$$\therefore E/\rho = C^2 \text{ or } C = \sqrt{E/\rho}$$

எனவே, திட திரவப் பொருள்களின் நெட்டலையின் வேகம்

$$C = \sqrt{E/\rho}$$

ஊடகத்தின் தன்மைக்கேற்ப மீட்சிக் குணகத்தை மாற்றித் திடப் பொருளிலோ, திரவப் பொருளிலோ நெட்டலையின் வேகத்தைக் காணலாம்.

திடப் பொருளில் நெட்டலையின் வேகம்

திடப் பொருளில் நீட்சித்தகைவும், நீட்சித்திரிபும் ஏற்படுவதால், அதனால் விளையும் மீட்சிக் குணகம் 'யங்' குணகமாகும். அதாவது $E = q$.

$$\text{எனவே } C = \sqrt{q/\rho}$$

வாயுப் பொருள்களில் நெட்டலையின் வேகம்

வாயுப் பொருள்களில், மற்றும் திரவங்களில் பருமத் தகைவும் பருமத் திரிபும் ஏற்படுவதால், இதிலடங்கும் மீட்சிக் குணகம் பரும மீட்சிக் குணகம் ஆகும். அதாவது $E = k$

$$\text{எனவே } C = \sqrt{k/\rho}$$

நியூட்டனின் வாய்பாடு (Newton's Formula)

வாயுப் பொருள்களில் நெட்டலை பரவும் வேகத்திற்கான கோவையை முதலில் பெற்றவர் நியூட்டன். வாயுப் பொருள்களில் நெட்டலைகள் பாய்வதால் ஏற்படும் நெருக்கத்தளர்வு மாறுதல்கள் சம வெப்ப நிலையில் (Isothermal) ஏற்படுவதாக நியூட்டன் கருதினார்; அதனால் சம வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகமே மேற்கண்ட வாய்பாட்டில் இடம் பெறுதல் வேண்டும் என்றார்.

சமவெப்ப நிலைச்சமன்பாடு $PV = K$(மாறிலி)-ஐப் பகுக்க,

$$P\delta V + V\delta P = O$$

$\therefore P = -V \frac{\delta p}{\delta v}$ [எதிர்க்குறி அழுத்தம் அதிகரிக்கப் பருமன் குறையுமென்பதைக் காட்டுகிறது.]

$$= \delta p./(\delta V/V) = \frac{தகைவு}{திரிபு}$$

$$= k$$

ஆகையால் $C = \sqrt{P/\rho}$ ஆகும்.

படித்தர அழுத்தமுள்ள காற்றை எடுத்துக்கொண்டால்

$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 981$ டைன்/ச.செ.மீ., $\rho = 0{\cdot}001293$ கி./க.செ.மீ.

எனவே $C = \sqrt{\frac{76 \times 13{\cdot}6 \times 981}{0{\cdot}001293}}$

$= 28000$ செ.மீ./செ. ஆகும்.

முன்பே கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒலி வேகம் 33000 செ.மீ./செ. ஆகும். இந்த முரண்பாட்டிற்குத் தக்க காரணத்தை நியூட்டனால் அப்போது கொடுக்க முடியவில்லை. இதற்குத் தக்க காரணத்தை லாப்லாஸ் விளக்கி, சமன்பாட்டைத் திருத்தியமைத்தார்.

லாப்லாஸின் திருத்தம் (Laplace's Correction)

நெட்டலைகள் வாயுப்பொருள்களின் வழியே வெகு வேகமாகச் செல்கின்றன. அதனால் ஏற்படும் நெருக்கத்தளர்வு மாறுதல்கள் சம வெப்ப நிலையில் நிகழ இயலாதென்று லாப்லாஸ் வாதிட்டார். நெருக்கத்தளர்வுகள் மிக வேகத்தில் அடுத்தடுத்து ஏற்படுவதால், அந்தக் குறுகிய காலத்தில் வாயுப்பொருள்கள் வெளியிடத்துடன் வெப்பத்தைப் பரிமாறிக்கொள்ள முடியாதென்றார். ஆகையால், நெருக்கத்தளர்வு மாற்றம் வெப்பமாற்றீடற்ற (adiabatic) நிலையில் ஏற்பட வேண்டுமென்று கூறினார்; அதன்படி வெப்ப மாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகத்தைக் கணக்கிட்டார்.

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலைச்சமன்பாடு $PV^r = K$-ஐப் பகுக்க,

$$V^r \delta P + PrV^{r-1} \delta V = O$$

$$\therefore rP = -V \frac{\delta P}{\delta V} = \frac{-\delta P}{\delta V/V} = -k$$

ஆகையால் $C = \sqrt{\frac{r\rho}{\rho}}$ ஆகும்.

படித்தர அழுத்தமுள்ள காற்றில் $r = 1{\cdot}4$

$$\text{எனவே } C = \sqrt{\frac{1{\cdot}4 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 981}{0{\cdot}001293}}$$

$$= 33060 \text{ செ.மீ./செ.}$$

இம் மதிப்பு பரிசோதனைகளின்மூலம் கிடைத்த மதிப்பை ஒட்டியிருப்பதால், லாப்லாஸின் திருத்தத்துடன் நியூட்டன்-லாப்லாஸ் சமன்பாடு ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது.

எனவே, வாயுப்பொருள்களின் ஒலி வேகம் $C = \sqrt{\frac{rP}{\rho}}$ ஆகும்.

அழுத்தம், வெப்பம், ஈரப்பதன் இவற்றால் ஒலி வேகத்தில் ஏற்படும் விளைவு (Effect of Pressure, Temperature and Humidity on the Velocity of Sound)

அழுத்தத்தின் விளைவு

வெப்ப நிலை மாறாதிருக்கும்போது P/ρ-யின் மதிப்பும் மாறாது. r ஒரு மாறிலி.

$C = \sqrt{\frac{rP}{\rho}}$ என்பதால், அழுத்த மாற்றங்களால் காற்றில் ஒலியின் வேகம் பாதிக்கப்படாது. **அதாவது அழுத்த** மாற்றத்தால் ஒலியின் வேகத்தில் எந்த விளைவும் ஏற்படாது.

வெப்பத்தின் விளைவு

$$\text{ஒலியின் வேகம் } C = \sqrt{\frac{rP}{\rho}}$$

காற்றின் நிறையலகுப் பருமன் (Specific Volume) V ஆனால், $\rho = 1/V$ அல்லது $V = 1/\rho$

$$\therefore C = \sqrt{rPV}$$

காற்றில் θ_1°C. வெப்ப நிலையில் ஒலி வேகம், அழுத்தம், நிறையலகு, பருமன் முதலியன C_1, P_1, V_1 என்றும், θ_2° C. வெப்ப நிலையில் இவை C_2, P_2, V_2 என்றும் இருந்தால்

$$C_1 = \sqrt{rP_1V_1} \quad C_2 = \sqrt{rP_2V_2}$$

$$\therefore C_1/C_2 = \sqrt{\frac{P_1V_1}{P_2V_2}}$$

தனி வெப்ப நிலையில் (Absolute temperature) θ_1°C., θ_2°C. இவற்றின் மதிப்பு T_1°A, T_2°A ஆகும். $P_1V_1 = RT_1$,

$P_2V_2 = RT_2$. ஆகையால் $\frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{RT_1}{RT_2}}$

அல்லது $\frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{273 + \theta_1}{273 + \theta_2}}$

ஆகையால் $0°C., \theta°C.$ வெப்ப நிலையில் ஒலியின் வேகங்கள் Co, C

எனக் கொண்டால், $\frac{C}{Co} = \sqrt{\frac{273 + \theta}{273}}$

$$\therefore C = Co\sqrt{\frac{273+\theta}{273}} = Co\sqrt{[1+(\theta/273)]} = Co(1+\theta/273)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore C = Co\ [1+(\theta/546)]$$

இதிலிருந்து வெப்பநிலை கூடும்போது காற்றில் ஒலியின் வேகமும் கூடுகின்றது என்பது தெளிவு.

$0°C.$ வெப்ப நிலையில் ஒலியின் வேகம் 330 மீட்டர்/செகண்ட் என்று வைத்துக்கொண்டால், $\frac{330}{546} = 0{\cdot}6$ மீ./செ. ஆகும். அதாவது பாயிலின் விதி பொருந்தக்கூடிய வெப்ப நிலைகளில் ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு வெப்ப நிலை அதிகரிப்புக்கு ஒலி வேகம் விநாடிக்கு 0·6 மீ. என்னும் வீதம் அதிகரிக்கும்.

ஈரப்பதனின் விளைவு

உலர்ந்த காற்றின் அடர்த்தி, ஈரம் கலந்த காற்றின் அடர்த்தியைவிட அதிகமாயிருக்கும். ஆகையால், காற்றில் ஈரம் சேரும் போது அதன் அடர்த்தி குறையும். இதனால் காற்றில் ஈரப்பதன் அதிகரிக்கும்போது அதில் ஒலியின் வேகமும் அதிகரிக்கும். இதைக் கீழ்க்காணும் முறையில் கணக்கிடலாம்:

வளியழுத்தம் P ஆகவும், அந்த அழுத்தத்தில் உலர் காற்றின் அடர்த்தி ρ ஆகவுமிருந்தால், உலர்ந்த காற்றில் ஒலியின் வேகம்

$$C = \frac{\sqrt{rP}}{P}$$ ஆகும்.

காற்றிலுள்ள நீராவியின் பகு அழுத்தம் p ஆக இருக்கட்டும். நீராவியின் மூலக்கூறு எடை 18 ஆகும். காற்றின் மூலக்கூறு எடையை 30 என எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஆகையால், ஒரு

க. செ. மீ. காற்றிலுள்ள நீராவியின் எடை $= \frac{p}{} \times \frac{18\rho}{30}$

ஒரு க. செ. மீட்டர் உலர் காற்றின் எடை = $\left(\frac{P-p}{P}\right)\rho$

ஆகையால் ஈரப்பதனுள்ள காற்றின் அடர்த்தி
= 1 க. செ. மீ. காற்றின் எடை +
1 க. செ. மீ. காற்றிலுள்ள நீராவியின் எடை.

$$\rho_1 = \left(\frac{P-p}{P}\right)\rho + \frac{p}{P} \times \frac{18}{30}\rho$$

$$= \left(\frac{P - \frac{12}{30}p}{P}\right)\rho$$

$$= \left(1 - \frac{\cdot 4p}{P}\right)\rho$$

எனவே, ஈரக் காற்றில் ஒலியின் வேகம்

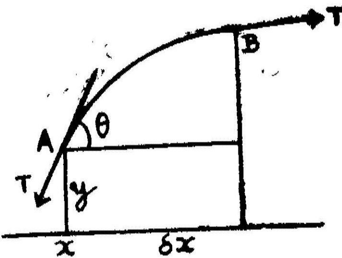
$$C = \sqrt{\frac{rP}{(1-\cdot 4P/p)\rho}}$$ ஆகும்.

காற்றில் ஈரம் அதிகரித்தால் P யின் மதிப்பு கூடி, சமன்பாட்டின் பகுதியின் மதிப்பு குறையும். எனவே, ஒலி வேகம் அதிகரிக்கும்.

திடப்பொருள்களில் குறுக்கலைகள்

நீட்டப்பட்ட கம்பியில் குறுக்கலையின் திசை வேகம் (Velocity of Transverse Waves in a Stretched String)

நீட்டப்பட்ட கம்பியில் ஒலி அலைகள் செல்லும்போது, அக் கம்பியில் உண்டாக்கப்படும் நீட்சியியல் விசை, இழு விசையுடன் ஒப்பிடும்போது மிக மிகக் குறைவானதே. ஆகையால், நீள்விசை இழுவிசையை மட்டும் பொருத்திருக்கும்.



படம் 24

T இழுவிசையிலுள்ள ஒரு கம்பியில் ஒரு குறுக்கலை பரவுவதாகக் கொள்வோம். கம்பியின் நிறை ஒரு செ. மீட்டருக்கு 'm' ஆக இருக்கட்டும் (நெடுக்கை அடர்த்தி). கம்பியின் இடப்பெயர்ச்சியில்லாத் திசையில் X அச்சு அமைந்து, இடப்பெயர்ச்சி Y அச்சில் ஏற்படட்டும். இடம் பெயர்ந்த நிலையில் கம்பியின் ஒரு சிறு பகுதி AB-ஐ எடுத்துக்கொள்வோம் (அலை அமைப்பின் சிறு பகுதி).

அதன் நீளம் δx ஆக இருக்கட்டும். இந்தச் சிறு அலை அமைப்பில் A-யில் வரையப்படும் தொடு கோடு x அச்சுடன் θ என்னும் கோணத்தில் இருக்கட்டும். Y அச்சில் A-யிலுள்ள இழு விசையின் கூறு $= T \sin \theta$.

'θ' சிறிதாயிருக்கும்போது $\sin \theta = \tan \theta$ என எடுத்துக் கொள்ளலாம். எனவே, இழுவிசையின் கூறு $= T \tan \theta = T \frac{dy}{dx}$. இது x அச்சை நோக்கியிருக்கும். Y அச்சில் B-யிலுள்ள இழுவிசையின் கூறு

$$= T \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx}\left(T \frac{dy}{dx}\right) \delta x$$

$$= T \frac{dy}{dx} + T \frac{d^2y}{dx^2} \delta x$$

இது x அச்சின் எதிர்த்திசையில் இருக்கும்.

எனவே, AB-யில் தொகுபயன் விசை

$$= T \frac{dy}{dx} + T \frac{d^2y}{dx^2} \delta x - T \frac{dy}{dx}$$

$$= T \frac{d^2y}{dx^2} \delta x$$

இத் தொகுபயன் விசை, AB-யின் நிறை, முடுக்கம் இவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்கும் சமமாகும் $(F = ma)$ ஆகையால்,

$$T \frac{d^2y}{dx^2} \cdot \delta x = m . \delta x \frac{d^2y}{dt^2}$$

$$\therefore \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right) \Big/ \frac{d^2y}{dx^2} = T/m$$

அதாவது $C^2 = T/m$

ஆகையால் $C = \sqrt{T/m}$

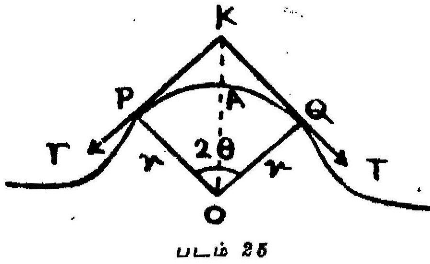
இதே சமன்பாட்டை டெய்ட் (Tait) முறையில் கீழ்க்கண்ட படி பெறலாம்:

டெய்ட் கயிற்றுக் கணக்கு (Tait's Rope Problem)

இழுத்துக் கட்டப்பட்ட ஒரு கம்பியின் ஒரு பகுதியைப் பக்க வாட்டில் இழுத்துவிட்டால், அக் கம்பியில் குறுக்கலைகள் உண்டாகும். கம்பியில் செல்லும் குறுக்கலையின் திசை வேகம்,

கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தியையும், இழுவிசையையும் சார்ந்திருக்கும்.

T இழுவிசையில் இழுத்து வைக்கப்பட்டுள்ள கம்பியை எடுத்துக்கொள்வோம். கம்பியை அதன் நீளத்திற்கு நேர்க் குத்தாக இழுத்து, அதில் குறுக்கலைகள் பாயச் செய்வோம். இடப்பெயர்ச்சியடைந்துள்ள உச்சப்பகுதி *PQ* ஒரு வட்டத்தின் வில்லைப்போல் வளைந்திருக்கும். இப் பகுதிக்குத் திமில் (hump) என்று பெயர். கம்பியில் இடமிருந்து வலமாக C திசை வேகத்தில் செல்லும் குறுக்கலையின் திசையிலேயே அதே வேகத்தில் இத் திமிலும் செல்லும். கம்பியை C வேகத்தில் வலமிருந்து இடமாக இழுத்தால் திமில் நிலைத்து நிற்கும். திமிலின் உச்சியில் உள்ள ஒரு சிறு மூலம் A-யின் வட்ட ஓட்டத்திற்குத் தேவையான மையநோக்கு விசை, திமிலின் முனைகள் *P, Q*-வில் உள்ள இழுவிசையால் அளிக்கப்படுகின்றது.



படம் 25

வட்ட வில்லைப்போல் வளைந்துள்ள பகுதி *PAQ*-யின் ஆரம் '*r*' ஆக இருக்கட்டும். *A*-யிலிருந்து சம தூரத்திலுள்ள புள்ளிகளான *P,Q*-விலுள்ள ஆரங்கள் *O*-ல் சந்திக்கின்றன. கோணம் $POQ = 2\theta$ ஆக இருக்கட்டும். எனவே, *AO*, அந்த இடைக்கோணம் $P\hat{O}Q$-வை இரு சம பாகங்களாகப் பிரிக்கும்.

P,Q என்னும் இரு புள்ளிகளிலுள்ள T மதிப்புடைய இழுவிசை அப் புள்ளிகளில் வட்ட வில்லுக்கு வரையப்பட்ட தொடுகோடுகளின் வழியே இயங்கும். இந்த இரு தொடு கோடுகளும் பின்னே நீட்டி விட்டால், *AO*-வின் நீட்சியை *K* என்னும் புள்ளியில் சந்திக்கும்.

P,Q இரு புள்ளிகளிலுமுள்ள இழுவிசையின் கூறுகள் *AO* திசையில் ஒவ்வொன்றும் $T \sin \theta$ ஆகும். 'θ' சிறியதாக இருப்பதால், இவை ஒவ்வொன்றும் $T\theta$ ஆகும்.

PAQ-யின் நீளம் l ஆனால், $T\theta = T \cdot \frac{l}{2r}$

AO-க்குச் செங்குத்தான திசையில் இழுவிசையின் கூறுகள் ஒன்றையொன்று நீக்கிக்கொள்கின்றன. ஆகையால், *AO* திசையில்

P,Q இரு புள்ளிகளிலுமுள்ள இழுவிசையின் கூறுகளின் தொகுபயன் $= 2.\ T.\ \frac{l}{2r} = T.\ \frac{l}{r}$

கம்பியின் ஓர் அலகு நீளத்தின் நிறை 'm' ஆனால், PAQ-ன் நிறை $M = l.m$ ஆகும்.

வட்ட இயக்கத்திற்கு மைய நோக்கு விசை

$$\frac{Mv^2}{r} = \frac{lmc^2}{r}$$

$$\text{ஆகையால்}\quad T.\ \frac{l}{r} = \frac{lmc^2}{r}$$

$$C^2 = T/m$$

$$\text{எனவே,}\quad C = \sqrt{T/m}\ \text{ஆகும்.}$$

கம்பிகளில் குறுக்கதிர்வுகளின் விதிகள் (Laws of Transverse Vibration in Strings)

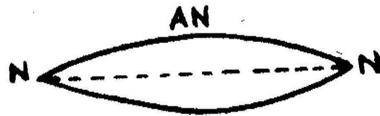
இழுக்கப்பட்ட கம்பிகளில் குறுக்கலையின் திசை வேகச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, கம்பிகளின் அதிர்வெண்ணைக் காணலாம்.

அதிர்வெண் n ஆகவும், அலை நீளம் λ ஆகவும் இருக்குமானால், கம்பியில் பரவும் அலையின் திசைவேகம் $C = n\lambda$ ஆகும்.

$$C = \sqrt{T/m}\ \text{என நிரூபித்துள்ளோம்.}$$

$$\text{எனவே,}\quad n\lambda = \sqrt{T/m}\ \text{ஆகும்.}$$

$$\text{ஆகையால்,}\quad n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{T/m}\ \ldots(1)$$



படம் 26

இரு புள்ளிகளில் இழுத்து வைக்கப்பட்டுள்ள l நீளமுள்ள கம்பியை நடுவில் மீட்டினால், ஒரு கண்டத்தில் பிரிந்து அதிரும். அப்போது அதிகச் செறிவுள்ள ஒலி உண்டாகும். இதற்கு ஆதாரச் சுரம் என்று பெயர். கம்பியின் இரு முனைகளும் கணுக்

களாகும் (*N*); கம்பியின் மையம் எதிர்க்கணுவாக (*AN*) அமையும். எனவே, கம்பியின் நீளம் ஓர் அலையில் பாதியாகும். அதாவது குறுக்கலையின் நீளம் கம்பியின் நீளத்தின் இரு மடங்காகும்.

ஆகவே, $\lambda = 2l$

எனவே, முதற்சுரத்தின் அதிர்வெண்

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \text{ ஆகும்.}$$

கம்பி இரு கண்டங்களாகப் பிரிந்தும் துடிக்கலாம். இப்போது கம்பியின் இரு முனைகள், மையம் இவை மூன்றும் கணுக்களாகவும், இவற்றிற்கிடையில் இரு எதிர்க்கணுக்களும் அமையும். இப்போது கம்பியின் நீளம் ஓர் அலை நீளத்திற்குச் சமமாகும். அதாவது $\lambda = l$.

ஆகையால் $n_1, = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

$n_1 = 2n$ ஆகும்.



படம் 27

n_1-க்கு முதல் மேற்சுரம் (overtone) எனப் பெயர். இது போலவே கம்பியைத் தக்க முறையில் மீட்டி 3, 4 கண்டங்களாகத் துடிக்கச் செய்யலாம்; அப்போது இரண்டாவது, மூன்றாவது மேற்சுரங்களில் ஒலிக்கும். அவற்றின் அதிர்வெண்கள் முறையே முதற்சுரத்தின் அதிர்வைப்போல் 3 மடங்கு, 4 மடங்கு இருக்கும். பொதுவாகக் கம்பி *x* கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடித்தால் உண்டாகும் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் x*n* ஆகும். இது (x-1) ஆவது மேற்சுரம் ஆகும். இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்ட கம்பி துடிக்கும்போது, எல்லா மேற்சுரங்களும் ஒரே சமயத்தில் ஒலிக்கின்றன.

குறுக்கலைவுகளின் விதிகள்

முதற்சுரத்தில் அதிரும் கம்பிகளின் அதிர்வெண் $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறப்படுகிறது.

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து கம்பிகளின் குறுக்கலைவு விதிகள் மூன்றினையும் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம்:

முதல் விதி: $n \propto 1/l$

குறிப்பிட்ட இழுவிசையில் துடிக்கும் ஒரு கம்பியின் ஆதாரச் சுரத்தின் அதிர்வெண் அக் கம்பியின் நீளத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும்.

இரண்டாம் விதி : $n \propto \sqrt{T}$

குறிப்பிட்ட நீளத்தில் துடிக்கும் ஒரு கம்பியின் ஆதாரச் சுரத்தின் அதிர்வெண் இழுவிசையின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

மூன்றாம் விதி : $n \propto 1/\sqrt{m}$

சம நீளமுள்ள பல கம்பிகள் சம இழுவிசையில் துடித்தால், ஆதாரச் சுரத்தின் அதிர்வெண் கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தியின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும்.

வினாக்கள்

1. ஒரு திடப்பொருளில் நெட்டலைகளின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்க ஒரு சோதனையை வர்ணிக்கவும். குறுக்கலைகளை விட நெட்டலைகள் வேகமுடையவை என்று நிரூபிக்கவும்.

2. வாயுப்பொருள்களில் ஒலி பரவுவதற்கான நியூட்டனின் சமன்பாட்டை நிறுவுக. லாப்லாஸ் இதை மாற்றியமைத்ததையும், அதற்கான காரணத்தையும் விளக்குக.

3. வெப்பநிலை மாற்றத்தாலும், ஈரப்பதன் மாற்றத்தாலும் வாயுவில் ஒலி வேகம் எப்படி மாறுபடும் ?

4. இழுவிசையில் பிடிக்கப்பட்ட கம்பியிலெழும் குறுக்கலைகளின் வேகத்தைக் கணக்கிட ஒரு கோவையைப் பெறுக.

5. வெப்பநிலை 13° செல்சியஸ் ஆக இருக்கும்பொழுது காற்றில் ஒலி வேகம் 340 மீட்டர்/வினாடி. வெப்பநிலை 22° செல்சியஸுக்கு உயர்ந்தால் ஒலியின் வேகம் என்னவாகும் ? [345·3 மீ./வி.]

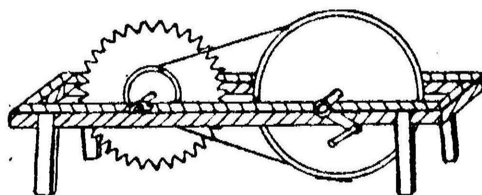
5. அதிரும் அமைப்புகள்

(Vibrating Systems)

அதிர்ந்து ஒலி எழுப்பும் மூலங்களை (அ) கம்பிகள், (ஆ) வாயுத்தம்பங்கள், (இ) தண்டுகள், (ஈ) சவ்வுகள், (உ) தட்டுகள் எனப் பிரித்து ஆராயலாம். இம் முறைகள் பொதுவாகப் பல் கூட்டு ஒலியை உண்டாக்குமே தவிர, தனிச் சுரத்தை உண் டாக்கா. சீரியல்பான இயக்கத்தில் இருக்கும் ஒரு பொருளி லிருந்து எழும் ஒலி தனிச் சுரத்தில் இருக்கும் எனக் கொள்ளப் படுகிறது. ஏதாவது ஒரு முறையில் எழுந்த ஒலியைப் பகுத் தாராய்ந்தால், அந்த ஒலி பல்கூட்டுச் சுரங்களால் ஆனதைக் காணலாம். குறைந்த அதிர்வெண்ணின் கூற்றை முதல் சுரம் என்கிறோம். முதற்சுரத்தைவிடச் செறிவு நிறைந்தோ குறைந்தோ உள்ள பல கூறுகள் இருக்கும். அவற்றிற்கு மேற்சுரங்கள் எனப் பெயர். மேற்சுரங்களின் அதிர்வெண்கள் முதற்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் முழு மடங்கில் இருக்கும்.

சாவர்ட் பல்சக்கரம் (Savart's Toothed Wheel)

சாவர்ட் பல்சக்கரம் என்பது வட்டமான ஓர் உலோகத் தட்டால் ஆனது. அதன் விளிம்பில் சம தூரத்தில் கூர்மையான பல பற்கள் வெட்டப்பட்டுள்ளன. ஒரு கைப்பிடியின் உதவி



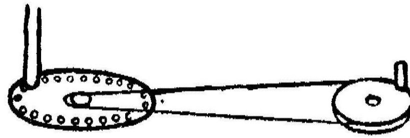
படம் 28

கொண்டு இப் பல்சக்கரத்தை நாம் விரும்பும் வேகத்தில் சுழற்ற லாம். பற்களுக்கிடையில் ஓர் அட்டை அல்லது கயிற்றைப் பிடித்துச் சக்கரத்தைச் சீரான வேகத்தில் சுற்றவும். அட்டை துடித்து ஒலியை எழுப்பும். சக்கரத்தின் சுழற்று வேகத்தை அதிகப்படுத்தி ஒலியின் அதிர்வெண்ணைக் கூடச் செய்யலாம்.

சக்கரத்திலுள்ள மொத்த பற்கள், சக்கரம் ஒரு வினடியில் செய்யும் சுற்றுகள் இவற்றின் பெருக்குத் தொகையே ஒலியின் அதிர்வெண் எனக் காட்டலாம். N பற்கள் கொண்ட ஒரு சக்கரம் ஒரு விநாடியில் n முறை சுழன்றால், ஒலியின் அதிர்வெண் Nn ஆகும்.

தட்டுச் சங்கு (Disc Siren)

தட்டுச் சங்கு ஓர் உலோகத் தகட்டினால் ஆனது. அதன் பரப்பில் சம தூரத்தில் சிறு துவாரங்கள் உள்ளன. ஒரு கைப்



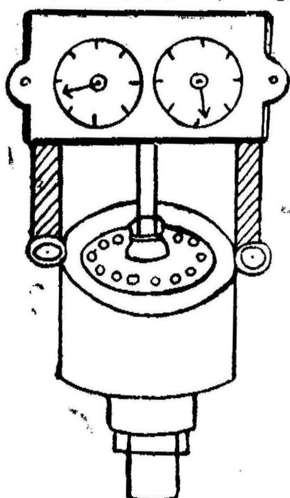
படம் 29

பிடியின் உதவியால் இத் தட்டை அதன் மையத்தில் செல்லும் ஓர் அச்சை மையமாகக்கொண்டு சுற்றலாம். ஊதுவாய்க் குழாய்மூலம் தட்டின் துவாரங்களின்மேல் காற்றை வீசலாம். தட்டைச் சுற்றினால் காற்று மாறி:மாறித் துவாரங்களின் வழியே சென்றும், துவாரங்களின் இடையேயுள்ள இடைவெளிகளில் தடைபட்டும் காற்றுத் துவாரங்களில் நெருக்கமும், தளர்த்தியும் உண்டாகும். ஒரு காலக் கட்டமைந்த ஒலி உலைவுகள் ஏற்பட்டு ஓர் ஒலிச் சுரம் எழும். அந்த ஒலிச் சுரத்தின் அதிர்வெண் = துவாரத்தின் எண்கள் × ஒரு நொடியில் ஏற்படும் சுழற்சிகள்.

காக்னியார்டு டி லா டோர் சங்கு (Cagniard de La Tour)

இதில் ஏற்பு வாயுடன் கூடிய பித்தளையாலான ஒரு பெரிய காற்றுப்பெட்டி உள்ளது. சம தூரத்தில் துவாரங்கள் கொண்ட ஒரு பித்தளைத் தட்டால் இப் பெட்டி மூடப்பட்டுள்ளது. இத் துவாரங்கள் ஒரு பக்கமாய்ச் சாய்ந்துள்ளன. எதிர்ப்புறம் சாய்ந்த துவாரங்கள் போட்ட இதே போன்ற மற்றொரு தட்டில் ஒரு கதிர் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. காற்றுப்பெட்டியை மூடியுள்ள தட்டின் மத்தியில் உள்ள ஒரு துவாரத்தில் இக் கதிரின் கீழ்ப்பாகம் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. கதிருடன் இணைந்த தட்டு பெட்டியை மூடியுள்ள தட்டையொட்டி அதன் மேலாக அமைந்திருக்கும். தட்டின் மேற்புறம் உள்ள கதிருடன் ஒரு சுழற் கணிப்பான் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. காற்றுப்பெட்டியில் காற்று செலுத்தப்படுகின்றது. மேல் தட்டில் உள்ள துவா

ரங்கள் கீழ்த்தட்டிலுள்ள துவாரங்களுக்கு மேலே இருக்கும் போது, கீழ்த்தட்டின் துவாரத்தின் வழியே செல்லும் காற்று மேல் தட்டின் துவாரத்தின் வழியே திசை மாறி வெளியே செல்லும். இதன் விளைவாக மேல் தட்டில் ஓர் எதிர்வினை செயல்பட்டு அது சுழலும். தட்டு சுற்றும் போது, அதன் துவாரங்கள் வழியே ஒரு கால நிர்ணயப்படி காற்றோட்டம் ஏற்பட்டு ஒலியை உண்டு பண்ணும். இவ்வொலியின் அதிர்வெண்ணைக் காற்றின் அழுத்தத்தைக் கூட்டி அதிகரிக்கச் செய்யலாம்.



படம் 30

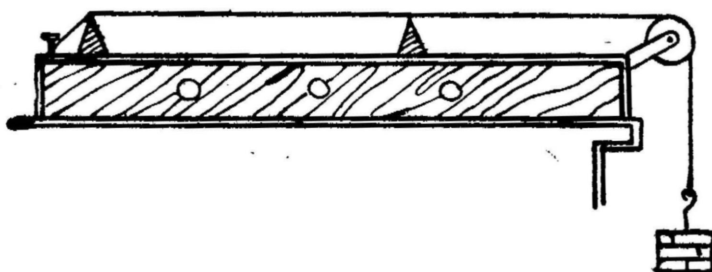
ஹெல்ம்ஹோல்ஸின் இரட்டைச் சங்கு (Helmholtz's Double Siren)

இதில் ஒரு செங்குத்து அச்சில் மேலும் கீழுமாக இரு காற்றுப் பெட்டிகள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. பெட்டிக்கு ஒன்று வீதம் துவாரங்களடங்கிய இரு தட்டுகளை ஒரு கதிர் தாங்கி நிற்கின்றது. கீழ்ப்பெட்டியின் தட்டில் 8 துவாரங்களும் மேல் பெட்டியின் தட்டில் 9 துவாரங்களும் உள்ளதாகக் கொள்வோம். கதிரானது ஒரு விநாடியில் 32 முறை சுற்றினால் ஒரு தட்டு எழுப்பும் சுரத்தின் அதிர்வெண் 256 ஆகும். மற்றது எழுப்பும் சுரத்தின் அதிர்வெண் 288 ஆகும். இப்பொழுது விநாடியில் 32 விம்மல்கள் எழும். அதை எண்ணுதல் எளிதல்ல. இரு தட்டுகளும் 8 துவாரங்களைப் பெற்றிருந்தால் எழும் சுரங்கள் ஒன்றாயிருக்கும். மேலுள்ள காற்றுப்பெட்டியைச் சுழற்ற அதில் ஒரு கைப்பிடியை ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் இணைத்தார். கதிர் சுழலும் திசையிலேயே இப் பெட்டியும் சுற்றினால் மேல்தட்டு எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வெண் குறையும். ஆனால், கதிரின் சுழற்சிக்கு எதிர்த்திசையில் பெட்டி சுற்றினால் ஒலியின் அதிர்வெண் அதிகரிக்கும். 4 விநாடிக்கு ஒரு சுற்று வீதம் மேல் பெட்டியைச் சுற்றினால், ஒரு தட்டு விநாடிக்கு 32 சுழற்சிக்கும், மற்றது 32+0·25 சுழற்சிக்கும் சமமாகும். இரு தட்டுகளும் 8 துவாரங்களைப் பெற்றிருந்தால், விநாடிக்கு 8 × 0·25 = 2 விம்மல்கள் கேட்கும். இதைச் சுலபமாக எண்ண லாம். காற்றுப்பெட்டியின் பல்வேறு வேகங்களுக்கு இரு புறமும் விம்மல்களை எண்ணி ஒரு விநாடியில் கேட்கும் விம்மல்

களின் எண்ணிக்கை, அதிர்வெண்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமம் என்பதை ஹெல்ம்ஹோல்ஸ் நிரூபித்துக் காட்டினர்.

சோனுமீட்டர் (Sonometer)

கம்பியின் அதிர்வு விதிகளைச் சரிபார்க்க ஆய்வுக்கூடங்களில் பயன்படும் ஒரு கருவி சோனுமீட்டராகும். இதன் முக்கிய பாகம் மரத்தாலான ஓர் ஒலிப்பெட்டி. இப்பெட்டியின்மேல் ஒரு நீண்ட மெல்லிய உலோகக்கம்பி இழுவிசையில் கட்டப்பட்டுள்ளது. பெட்டியின் ஒரு முனையிலுள்ள ஒரு முளையில் கம்பி கட்டப்பட்டு, மற்றொரு முனையிலுள்ள ஒரு கப்பியின்மேல் செலுத்தப்பட்டு எடைக்கல் கொக்கியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. பெட்டியின் மேலுள்ள இரு குதிரைகளின் (Bridges) மீதும் கம்பி படிந்து செல்லும். குதிரையை நகர்த்திக் கம்பியின் அதிரும் பகுதியைச் சரி செய்யலாம். சில சோனுமீட்டர்களில் இரு கம்பிகள் இணையாக அமைக்கப்பட்டிருக்கும். பெட்டியின் உள்ளிருக்கும் காற்று வெளிக் காற்றுடன் தொடர்பு கொண்டிருக்க, பக்கப் பலகைகளில் சில துவாரங்கள் இருக்கும்.



படம் 81

ஒரு செ.மீ. நீளத்திற்கு 'm' கிராம் நிறையுள்ள ஒரு கம்பி T இழுவிசையில் இருக்கும்போது குதிரைகளின் மேலுள்ள l செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியை மீட்டினால், கம்பியில் $\sqrt{T/m}$ திசைவேகத்தில் ஓர் அலை செல்லும். இந்த அலை ஒரு குதிரையில் எதிரொலிக்கப்பட இரு அலைகள் எதிர்த் திசையில் கிடைக்கும். இதன் பலனால் நிலை அலைகள் ஏற்படும். குதிரைகள் உள்ள இடங்களில் கணுக்கள் அமையும். ஆகவே, அலை நீளம் $2l$ ஆகும். கம்பி எழுப்பும் சுரத்தின் அதிர்வெண் $N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ஆகும். இச் சமன்பாட்டினின்றும் துடிக்கும் கம்பிகளின் நிலையான குறுக்கலைகளின் மூன்று விதிகளையும் பெறலாம். இவ் விதிகள் மெர்சேன் (Mersenne) என்பவரால் 1636-ஆம் ஆண்டு

பெறப்பட்டன. சோனமீட்டரைக்கொண்டு இவ் விதிகளை மெய்ப்பிக்கலாம்.

முதல் விதியைச் சரி பார்த்தல்

முதல் விதியின்படி $n \propto \frac{1}{l}$. ஆகையால், nl = மாறிலி ஆகும். இவ் விதியை மெய்ப்பிக்க ஓர் இசைக்கவையை இயக்கிக் காதின் அருகே வைத்துக்கொண்டு இரண்டு குதிரைகளுக்கும் இடையே யுள்ள கம்பியை மீட்டினால் விம்மல்கள் கேட்கும். அதிரும் கம்பி எழுப்பும் ஒலியும் இசைக்கவையின் ஒலியும் இணையும்வரை குதிரைகளின் இடையேயுள்ள கம்பியின் நீளத்தைச் சீரமைக்க வேண்டும். இசைப் பயிற்சியுள்ளோர் இவ்வொத்திசைவைத் தம் காதின் உதவிகொண்டே உணர்வர். இதை உணர வேற்று முறையில் ஒரு காகித ஏறியை (paper rider) குதிரைகளின் இடையேயுள்ள கம்பியின்மேல் வைத்துவிட்டு, இசைக் கவையை இயக்கி, அதன் தண்டை சோனமீட்டர்ப் பெட்டியின் மேல் வைத்துக் கம்பியின் நீளத்தைச் சரி செய்தால், ஏறி படபடத்துக் கீழே விழும். இதிலிருந்து கம்பியின் மையம் ஓர் எதிர்க்கணு என அறியலாம். குதிரைகளுக்கிடையேயுள்ள அதிரும் கம்பியின் நீளத்தை அளக்கவும். அளந்த நீளத்தை l எனலாம். இசைக்கவையின் அதிர்வெண் n என்றால், இவற்றின் பெருக்கல் nl-ஐக் கண்டுகொள்வோம். இதே முறையில் இன்னும் சில இசைக்கவைகளைக்கொண்டு சோதனை யைச் செய்து ஒவ்வொரு முறையும் அதிரும் கம்பியின் நீளத்தை அளந்து, இந்த அளவீடுகளைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் பூர்த்தி செய்யவும். கடைசிக் கட்டத்திலுள்ள nl மாறிலியாக இருப்பதைக் காணலாம். இதிலிருந்து முதல் விதி மெய்யாவது புலப்படும்.

எண்	இசைக்கவையின் அதிர்வெண் 'n'	அதிரும் பகுதியின் நீளம் l செ. மீ.	nl
1			
2			
3			
4			

(இழுவிசையை 3-4 கி. கி. நிறையில் வைக்கவும்.)

இரண்டாவது விதியைச் சரி பார்த்தல்

இரண்டாவது விதியின்படி $n \propto \sqrt{T}$. அதாவது அதிர்வெண் இழுவிசையின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். ஆகையால் $\sqrt{T}/n$ ஒரு மாறிலியாகும். கம்பியின் இழுவிசையை 3 கிலோ கிராம் ஆக வைத்து அதிரும் கம்பியின் சுரம் இசைக் கவையின் ஒலியுடன் இசையும் வரை அதிரும் கம்பியின் நீளத்தைச் சரி செய்ய வேண்டும். இந்த நீளத்தை அளந்து $\sqrt{T}/l$-ஐக் கணக்கிடவும். இழுவிசையை 0·5 கி. கி. வீதம் அதிகரித்துச் சோதனையைச் செய்து ஒவ்வொரு முறையும் கம்பியின் நீளத்தை அளக்கவும். அளவீடுகளை அட்டவணையில் பூர்த்தி செய்து $\sqrt{T}/l$ ஒரு மாறிலியாக உள்ளதைக் காணவும். இதிலிருந்து n மாறாதிருக்கும்பொழுது $\sqrt{T}/l$ மாறிலி என்பது தெரிகின்றது. அல்லது $\sqrt{T}/nl$ ஒரு மாறிலியாகும். ஆனால் nl ஒரு மாறிலி. எனவே, n மாறுபட்டு, l மாறாதிருக்கும்பொழுது $\sqrt{T}/n$ மாறிலியாக இருக்கும் என்பதை அறியலாம்.

(ஒரே இசைக்கவையை எடுத்துக்கொள்ளவும்)

எண்	இழுவிசை T	அதிரும் பகுதியின் நீளம் l செ.மீ.	$\sqrt{T}/l$
1			
2			
3			
4			

மூன்றாவது விதியைச் சரி பார்த்தல்

மூன்றாவது விதியின்படி $n \propto 1/\sqrt{m}$. அதாவது, அதிர்வெண் கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தியின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலுள்ளது. ஆகையால், $n\sqrt{m}$ ஒரு மாறிலியாகும்.

நெடுக்கை அடர்த்தி மாறுபட்ட, வெவ்வேறு உலோகங்களாலான மூன்று-நான்கு கம்பிகளைப் பயன்படுத்திச் சோதனையைச் செய்ய வேண்டும். ஒரு குறிப்பிட்ட இழுவிசையில் கம்பிகளை வைக்க வேண்டும். கொடுக்கப்பட்ட ஓர் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணுடன் அதிரும் கம்பியின் சுரம் இசையும் வரை

கம்பியின் நீளத்தைச் சரி செய்யவும். ஒலி இசையும்பொழுது குதிரைகளிடையேயுள்ள ஒவ்வொரு கம்பியின் நீளத்தையும் அளந்துகொள்ளவும். இதை l என்போம். கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தி m-ஐக் கண்டு, $l\sqrt{m}$-ஐக் கணக்கிட்டு, அட்டவணையில் இடவும். $l\sqrt{m}$ ஒரு மாறிலியாக இருப்பதைக் காணலாம். இதிலிருந்து n மாறாதிருக்கும்பொழுது $l\sqrt{m}$ மாறிலி என்பது தெரிகின்றது. அல்லது $nl\sqrt{m}$ மாறிலியாகும். ஆனால், nl ஒரு மாறிலி. எனவே, l மாறாதிருக்கும்பொழுது $n\sqrt{m}$ ஒரு மாறிலியாக இருக்குமென்பதை அறியலாம். இவ்வாறு மூன்றாம் விதியை மெய்ப்பிக்கலாம்.

எண்	கம்பி	கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தி (m)	அதிரும் பகுதியின் நீளம் l செ. மீ.	$l\sqrt{m}$
1	எஃகு			
2	செம்பு			
3	பித்தளை			

வாயுத்தம்பங்களின் அலைவுகள் (Vibration of Gas Columns)

ஒரு குழாயில் நிறைந்திருக்கும் காற்று மண்டலத்திற்குக் காற்றுத்தம்பம் எனப் பெயர். காற்றுக்குப் பதில் ஏதாவதொரு வாயுவைக் குழாயினுள் நிரப்பினால் குழாயினுள் உள்ள வாயு மண்டலம் வாயுத்தம்பம் எனப்படும். ஓர் இசைக்கவையை இயக்கிக் குழாயின் வாயின்மேல் காண்பித்தால், வாயுத்தம்பம் அலைவுறும். நெட்டலைவு தொடரலைகள் குழாயின் வழியே சென்று மறு முனையில் எதிரொலித்து மேலே திரும்பி வருகின்றன. கீழே செல்லும் அலைகளும் எதிரொலித்து மேலே வரும் அலைகளும் சந்திக்க நிலையலைகள் உண்டாகின்றன. பெரும அழுத்த மாறுதலும், இடப்பெயர்ச்சியுமில்லாத இடங்களில் கணுக்கள் தோன்றுகின்றன. இவ்விடங்களில் அடர்த்தியும் தளர்த்தியும் மாறி மாறி ஏற்படுகின்றன. இங்குள்ள துகள்கள் நகருவதில்லை. பெரும இடப்பெயர்ச்சியும், அழுத்த மாறுதலுமில்லாத இடங்களில் எதிர்க்கணுக்கள் தோன்றுகின்றன. ஒரு கணுவிற்கும் அதை அடுத்துள்ள எதிர்க்கணுவிற்குமிடையேயுள்ள தூரம் கால் அலை நீளமாகும். அடுத்தடுத்துள்ள இரு

கணுக்கள் அல்லது இரு எதிர்க் கணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் அரை அலை நீளமாகும்.

குழாயிலுள்ள வாயு மண்டலத்தின் சுய அதிர்வெண்ணும் ஒலியை இயக்கும் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணும் சமமாக இருந்தால் ஒத்திசைவு (Resonance) ஏற்படும். இசைக்கவையின் ஒலி வாயுத்தம்பத்தின் ஒத்திசைவால் பெருக்கப்பட்டு நன்றாகக் கேட்கும்.

திறந்த குழாய், மூடிய குழாய் என்னும் இரு வகைப்பட்ட வாயுத்தம்பங்களின் அலைவுகளையும் அதிர்வு வகைகளையும் காண்போம்.

திறந்த குழாய் (Open Pipe)

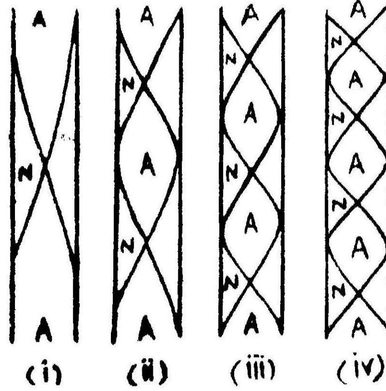
இரு புறமும் திறந்துள்ள l அலகு நீளமுள்ள குழாயிலுள்ள வாயுவின் அலைவை ஆராய்வோம். திறந்த முனையில் துகள்கள் தன்னிச்சையில் இயங்குதற்குத் தடையேதுமில்லை. துகள்கள் நகரும்பொழுது அழுத்த மாறுதல் ஏற்பட்டால் காற்றில் பக்கத்திலுள்ள துகள்கள் நகர்ந்து சென்று தாமாகவே அழுத்தக் குறைவைப் பூர்த்தி செய்கின்றன. எனவே, அழுத்த மாறுதல்கள் ஏற்படுதற்குக் காரணமுமில்லை. ஆகையால், திறந்த முனைகளில் எப்போதும் எதிர்க்கணுதான் தோன்றும். இரண்டு எதிர்க்கணுக்களுக்கிடையே ஒரு கணு இருக்க வேண்டும். எனவே, ஒரு திறந்த குழாயில் வாயுத்தம்பம் அடிப்படை வகையில் (Fundamental mode) அலைவுற்று முதல் சுரத்தை எழுப்பும்போது திறந்த முனைகளில் எதிர்க் கணுக்களையும் நடுவில் ஒரு கணுவையும் கொண்டிருக்கும். இப்போது குழாயின் நீளம் அரை அலை நீளத்திற்குச் சமமாகும். அதாவது $l = \lambda/2$. ஆகையால் $\lambda = 2l$. இசைக்கவையின் அதிர்வெண் n ஆனால்,

$$\text{ஒலி வேகம் } C = n\lambda$$

$$= 2l.n. \text{ ஆகையால் } \frac{C}{l} = 2n \ldots \text{(i)}$$

இப்போது எழும் ஒலியின் செறிவு (intensity) பெரும நிலையிலிருக்கும். அதனால் ஒலியின் அதிர்வெண் சிறும நிலையில் இருக்கும். எனவே, இந்த அதிர்வெண் முதல் சுரம் அல்லது மூலச் சுரம் (Fundamantal note) எனப்படும். முதல் சுரத்துடன் அதன் அடுக்கிலடங்கிய வேறு அதிர்வெண்களுடைய பிற சுரங்களும் எழுகின்றன. இவற்றிற்கு மேல் சுரங்கள் என்று பெயர்.

அதே திறந்த குழாயில் படம் 32 (ii) முதல் மேற்சுரம் எழும் போது இரு திறந்த முனைகளிலுள்ள எதிர்க்கணுவோடல்லாமல்



படம் 32

நடுவில் இரு கணுக்களும் ஓர் எதிர்க்கணுவும் தோன்றும். இப்போது குழாயின் நீளம் ஒரு முழு அலைக்குச் சமமாகும். அதாவது $l = \lambda$. இந்த முதல் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் n_1

ஆனால், $C = n_1\lambda = n_1 l$. ஆகையால் $\frac{C}{l} = n_1$...(ii)

முதல் சமன்பாட்டின் ஒப்பிடும்போது $n_1 = 2n$ ஆகும்.

அதாவது, முதல் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் மூலச் சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் இரு மடங்காகும். இதேபோல் படம் 32 (iii) லிருந்து இரண்டாவது மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் மூலச் சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் மும்மடங்கு என்பதையும், படம் 32 (iv)-லிருந்து மூன்றாவது மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் மூலச் சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் நான்கு மடங்கு என்பதையும் காணலாம். எனவே, திறந்த குழாயில் ஒலி அலைவு ஏற்படும் போது உண்டாகும் மேற்சுரங்களின் அதிர்வெண்கள், மூலச் சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் முழு எண் மடங்கில் (Integral multiple) அதிகரிப்பதைக் காணலாம். மேற்சுரங்களின் ஒலிச் செறிவு போகப்போகக் குறைந்துகொண்டுதான் போகும். இருந்த போதிலும், இம் மேற்சுரங்கள் ஒலியின் சுரப்பண்பை (Quality or Timbre) அதிகப்படுத்துகின்றன.

மூடிய குழாய் (Closed Pipe)

ஒரு பக்கம் மூடப்பட்ட குழாயில் உள்ள வாயுத்தம்பத்தின் ஒலி அலையைக் காண்போம். மூடப்பட்ட பக்கத்தில் உள்ளழுத் தத்தால் துகள்கள் துடிப்பதனின்றும் தடுக்கப்படுகின்றன. ஆகையால், மூடப்பட்ட பக்கத்தில் எப்போதும் கணுதான் இருக்கும். வாயுத்தம்பம் அடிப்படை வகையில் அலைவுறும் பொழுது மூடப்பட்ட முனையில் ஒரு கணுவும் திறந்த முனையில் ஓர் எதிர்க்கணுவும் தோன்றும். இப்போது குழாயின் நீளம் கால் அலை நீளத்திற்குச் சமமாகும். அதாவது $l = \lambda/4$ ஆகும்.

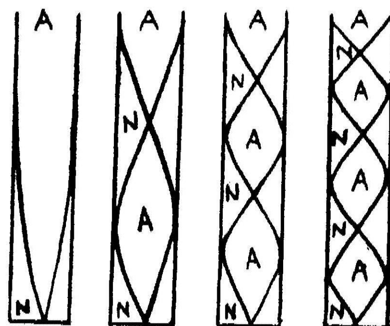
$$\therefore \lambda = 4l$$

மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண் n ஆனால், $C = n\lambda = n.4l$

$$\text{ஆகையால் } \frac{C}{l} = 4n \ldots \text{(i)}$$

முதல் மேற்சுரம் எழும்போது படம் 33 (ii) மூடிய முனையில் கணுவும் திறந்த முனையில் எதிர்க்கணுவும், இவ்விரண்டிற்கு மிடையில் ஒரு கணுவும், ஓர் எதிர்க்கணுவும் உண்டாகின்றன. இப்போது குழாயின் நீளம் முக்கால் அலை நீளத்திற்குச் சமமாகும். அதாவது, $l = \frac{3}{4}\lambda$ ஆகையால், $\lambda = 4/3\ l$ ஆகும்.
முதல் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் n_1 ஆனால், $C = n_1\lambda = n_1.4/3l$

$$\text{ஆகையால் } \frac{C}{l} = 4/3\ n_1 \ldots \text{(ii)}$$



படம் 33

முதல் சமன்பாட்டுடன் ஒப்பிடும்போது $n_1 = 3n$ என விளங்கும். அதாவது முதல் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் மூலச் சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் மும்மடங்காகும்.

இதுபோல் படம் 33 (iii)-லிருந்து இரண்டாவது மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் 5 மடங்கு என்பதையும், படம் 33 (iv)-லிருந்து மூன்றாவது மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் 7 மடங்கென்பதையும் காணலாம். எனவே, மூடிய குழாயில் ஒலி அலைவு ஏற்படும்போது உண்டாகும் மேற்சுரங்களின் அதிர்வெண்கள் மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணின் ஒற்றைப்படை எண் மடங்குகளாக (odd multiple) அதிகரிப்பதைக் காணலாம். இம் மேற்சுரங்கள் ஒலியின் பண்பை உயர்த்திக் கூட்டுகின்றன.

முனைத்திருத்தம் (End Correction)

வாயுத்தம்பங்களின் அலைவுகளைப் பற்றிப் படிக்கும்போது திறந்த முனையில் எப்போதும் எதிர்க்கணுவே அமையும் என்று சொல்லி வந்தோம். ஆனால், இது சரியல்ல என்பதையும், திறந்த முனையினின்றும் சிறிது வெளியே தள்ளியே எதிர்க்கணுக்கள் உண்டாகின்றன என்பதையும் நடைமுறையில் கண்டார்கள். திறந்த முனையினின்று அதற்கு வெளியே தள்ளியமையும், எதிர்க்கணுவின் தூரம் குழாயின் விட்டத்தின் 0·3 பங்கு என்பதையும் ராலே பிரபு சோதனையின்மூலம் காண்பித்துள்ளார். ஆகையால், அலை நீளத்தைக் கணக்கிடும்போது, குழாயின் விட்டம் d ஆனால், திறந்த குழாய்க்கு அதன் நீளத்துடன் 0·6d-ஐயும், மூடிய குழாய்க்கு அதன் நீளத்துடன் 0·3d-ஐயும் சேர்க்க வேண்டும். இவ்வாறாக ஒவ்வொரு முனையிலும் சேர்க்கப்பட வேண்டிய அளவிற்கு (0·3d) முனைத்திருத்தம் என்று பெயர்.

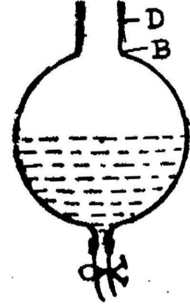
ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவி (Helmholtz Resonator)

இது கோள வடிவில் பித்தளையாலான ஒரு பாத்திரம். சிறிய கழுத்தும், அதற்கு எதிர்ப்புறம் ஒரு சிறு துவாரம் கொண்ட குழாயும் கொண்டுள்ளது. இக் குழாயில் ஓர் இரப்பர்க் குழாயை இணைத்து, அதில் ஓர் இடுக்கி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. ஒத்திசைவியில் நீரை நிரப்பி, அதை வேண்டிய அளவிற்கு வடிய விட்டு ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றின் பருமனை மாற்றலாம்.

ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றின் பருமனை மாற்றி, அது எந்த இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணுடனும் ஒத்திசைக்கும்படி செய்யலாம். கழுத்திலுள்ள காற்றடுக்குகள் செங்குத்தாகத் துடிப்பதால், ஒலி ஏற்பட்டுக் காக்கப்படுகின்றது. இவ்வொத்திசைவியில் ஏற்படும் காற்றின் அலைவு, அடியில் சிறு எடையுடன் கூடிய சுருள் வில்லின் செங்குத்து அலைவை ஒத்திருக்கும். ஒத்திசைவியின் கழுத்திலுள்ள காற்றடுக்குகளை வில்லிலுள்ள

எடைக்கு ஒப்பிடலாம். ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றைச் சுருள் வில்லுக்கு ஒப்பிடலாம். எனவே, ஒத்திசைவியில் அலைவு ஏற்பட்டு ஒலி எழும்போது, துடிப்புகளின் இயக்க ஆற்றல் கழுத்திலுள்ள காற்றடுக்குகளில் உறைந்திருப்பதாயும், அவற்றின் நிலையாற்றல் ஒத்திசைவியினுள் அடங்கிய காற்றின் அழுத்த மாற்றங்களால் உண்டாக்கப்பட்டு, அக் காற்றிலேயே இருப்பதாயும் எடுத்துக்கொள்ளலாம். எனவே, ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றின் அலைவு நேரம்

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{கழுத்திலுள்ள காற்றின் எடை}}{\text{காற்றடுக்கின் ஓர் அலகு இடப்பெயர்ச்சிக்குள்ள மீள்விசை}}}$$



படம் 84

கழுத்தின் அடியில் ‘B’ என்னும் புள்ளியின் மட்டம் வரை பாத்திரத்திலுள்ள காற்றின் பருமன் V எனவும், கழுத்தின் நீளம் L எனவும், கழுத்தின் குறுக்களவு A எனவும் கொள்வோம். கழுத்தில் B-யிலிருந்து ஓரலகு தூரத்தில் D என்னும் ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம்.

காற்றடுக்கு D-யிலிருக்கும்போது அதன் அழுத்தம் ‘P’ ஆனுல், காற்று அடுக்கு B-க்கு நகரும்போது அழுத்தம் δP அளவு உயருகின்றது என்போம். எனவே, காற்றடுக்கு B-யிலிருக்கும்போது அழுத்தம் $P + \delta P$ ஆகும்.

காற்றடுக்கு D-யிலிருந்து ஓரலகு தூரம் கீழே நகரும்போது செயல்படும் விசை $A.\delta P$ ஆகும். ஆகையால், ஓரலகு இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுத்தும்மீள்விசை $A.\delta P$ ஆகும். பாத்திரத்திலுள்ள காற்றின் அடர்த்தி P ஆனுல், கழுத்திலுள்ள காற்றின் நிறை $A.L.P$ ஆகும். எனவே, ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றின் அலைவு நேரம்

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{AL.P}{A.\delta P}}$$

அதாவது $$T = 2\pi \sqrt{\frac{LP}{\delta P}} \quad ...(1)$$

காற்றடுக்கு D மட்டத்திலிருக்கும்போது காற்றின் பருமன் $(V + A)$, காற்றின் அழுத்தம் P. காற்றடுக்கு B மட்டத்திலிருக்கும்போது காற்றின் பருமன்: V, அழுத்தம் $(P + \delta P)$. ஒத்திசை

வியிலுள்ள காற்றடுக்கு அலைவுறும்போது ஏற்படும் பரும அழுத்த மாற்றங்கள் அதிசீக்கிரம் அடுத்தடுத்து ஏற்படுவதால், அவை வெப்ப மாறு நிலையில் ஏற்படுகின்றன என்று கொள்ள வேண்டும். அதாவது, PV^r என்னும் கோட்பாட்டிற்கிணங்கப் பரும அழுத்த மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன.

ஆகையால் $P + (V + A)^r = (P + P\delta)\ V^r$

$$PV^r\left(1 + \frac{A}{V}\right)^r = (P + \delta P)\ V^r$$

அதாவது $P\left(1 + \frac{A}{V}\right)^r = P + \delta P$

ஆகையால் $P\left(1 + \frac{rA}{V}\right) = P + \delta P$. ஏனெனில், $\frac{A}{V}$ மிகச் சிறியதாயிருக்கும்.

$$ie.,\ P + \frac{PrA}{V} = P + \delta P$$

$$ie,\ \delta P = \frac{PrA}{V} \quad \ldots(2)$$

'δP'-யின் மதிப்பை (1) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{PL}{rPA/V}} = 2\pi\sqrt{\frac{LV}{A}\cdot\frac{\rho}{rP}}$$

ஆனால் $C = \sqrt{\frac{rP}{\rho}}$

ஆகையால் $T = 2\pi\sqrt{\frac{LV}{A}\cdot\frac{1}{C2}}$

$$ie.,\ T = \frac{2\pi}{C}\sqrt{\frac{LV}{A}} \quad \ldots(3)$$

ஆகையால் ஒத்திசைவியில் உள்ள காற்றின் அதிர்வெண்,

$n = \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{VL}}$ ஆகும்.

அல்லது

$n = \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{V}}$. இதில் $K = \frac{A}{L}$ என்பது கழுத்தின் கடத்துத் திறன் எனப்படும்.

ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்று தன்னிச்சையில் அலைவுறும் போது ஒத்திசைவியின் மூல அதிர்வெண்ணை மேற்கண்ட சமன்பாடு கொடுக்கின்றது. இதுவே காற்றுக் குழியின் இயற்கை அதிர்வெண் ஆகும்.

ஒலி அலைகள் கழுத்திலுள்ள காற்றில் விழும்போது, காற்றுக் குழியில் திணிப்பு அலைவு ஏற்படும். ஒத்திசைவு நிலையில் அவ்வலைவுகளின் திறன் அதிகமாயிருக்கும். துகள் வேகத்தையும் அழுத்தத்தையும் இந்த ஒத்திசைவி பெருக்கிக் காட்டும். எனவே, படு ஒலியின் செறிவு சிறிதாயும், செவியுணர்த் திறனில் இல்லாவிட்டாலும், ஒத்திசைவி அச் செறிவைப் பெருக்கிச் செவியுணர்த் திறனில் கொடுக்கும். இந்த ஒத்திசைவி அதன் இயற்கை அதிர்வெண் அல்லாத மற்ற ஒலி அதிர்வெண்களுக்கு ஒத்திசைக்காது. எனவே, ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் ஒத்திசைவியைப் பயன்படுத்தி, பல்கூட்டு ஒலியைப் பகுப்பாராய்ந்து, அதிலடங்கிய அதிர்வெண்களைக் கண்டு பிடிக்கலாம். பல ஒத்திசைவு அதிர்வெண்களைக் கொண்ட பல ஒத்திசைவிகளின் பல்கூட்டு ஒலியை ஏற்று ஒத்திசைக்கும் ஒத்திசைவிகளைக் கண்டறியலாம். இதனின்று அந்தப் பல்கூட்டு ஒலியிலடங்கிய அதிர்வெண்களைப் பெறலாம்.

தண்டுகளின் நெட்டதிர்வுகள்

தண்டுகளிலும் சட்டங்களிலும் நெட்டதிர்வுகள், குறுக்கதிர்வுகள், முறுக்கதிர்வுகளை உண்டு பண்ணலாம். நெட்டதிர்வுகளும் குறுக்கதிர்வுகளும் பொதுவாக ஏற்படக்கூடியவை. உலோகம், கண்ணாடி, மரம் ஆகியவற்றால் உருளை வடிவிலமைந்த தண்டுகள் நெட்டதிர்வுகளுக்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. சில சமயங்களில் இப் பொருள்களினலான குழாய்களும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒரு தண்டில் நெட்டதிர்வுகளை உண்டு பண்ண அதை அதன் மையத்தில் பற்றிப் பொருத்த வேண்டும். மையத்தில் கணு உண்டாகும். மரம் அல்லது உலோகத்தினலான தண்டை ரெஸின் தடவிய தோலினல் தண்டின் ஒரு முனையில் தேய்த்திழுக்க வேண்டும். கண்ணாடியாலான தண்டைத் தண்ணீர் அல்லது ஸ்பிரிட்டில் நனைத்த துணியினல் தேய்க்க வேண்டும். தண்டில் அதிர்வு ஏற்படும்போது இரு முனைகளிலும் எதிர்க்கணுக்கள் உண்டாகும். தண்டின் நீளம் L ஆனல், மூலச் சுரத்தில் அதிரும்போது அலை நீளம் $2L$ ஆகும். தண்டில் நெட்டலைகளின் திசை வேகம் $C = \sqrt{q/\rho}$ ஆகையால், மூல அதிர்வெண்

$$n = \frac{1}{2L}\sqrt{q/\rho} \text{ ஆகும்.}$$

தண்டு இரண்டாவது வகையில் அதிரும்போது மூன்று கணுக்களும் நான்கு எதிர்க்கணுக்களும் உண்டாகும். இப்போது அலை நீளம் $2/3L$ ஆகும். ஆகையால், அதிர்வெண்

$n_1 = \frac{3}{2L}\sqrt{q/\rho}$ இவ்விதமாகத் திறந்த காற்றுத்தம்பங்களில் ஏற்படுவதைப்போல் ஒற்றைப்படை அடுக்குச் சுரங்களை உண்டு பண்ணலாம்.

தண்டை மையத்தில் பற்றிப் பிடிப்பதற்குப் பதிலாக இரு முனைகளினின்றும் $\frac{L}{4}$ தூரத்தில் பற்றிப் பிடித்தால் மையத்திலும் இரு முனைகளிலும் எதிர்க் கணுக்கள் தோன்றும். எனவே, மூலச்சுரத்தில் அலை நீளம் தண்டின் நீளத்திற்குச் சமமாகும்.

எனவே, மூல அதிர்வெண் $n = \frac{1}{L}\sqrt{q/\rho}$

திறந்த குழாயில் ஏற்படுவதைப்போல் எல்லாச் சுரங்களும் உண்டாகுமாறும் தண்டை இயக்கலாம்.

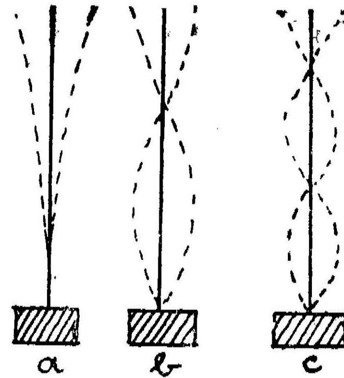
தண்டுகளின் குறுக்கதிர்வுகள் (Transverse Vibration of Bars)

ஒரு முனையில் கட்டப்பட்ட ஒரு தண்டின் மற்ற முனையை ஒரு பக்கம் சிறிது இழுத்து விட்டால், தண்டில் குறுக்கதிர்வுகள் ஏற்படும். தண்டில் அலைவுகள் ஏற்படுவதற்கேற்ற மீட்சி இரட்டையை, வளைவு திருப்புத்திறன் அளிக்கிறது. ஒரு முனையில் கட்டப்பட்டு மறு முனை தனித்தும் உள்ள அதிரும் தண்டிற்குக் கட்டப்பட்ட சுய தண்டு என்று பெயர். தண்டின் இரு முனைகளும் தனித்திருக்குமாறு அதைத் தாங்கி அதிரவிட்டால், அதற்குச் சுய சுய தண்டு என்று பெயர்.

கட்டப்பட்ட சுய தண்டு (Fixed Free Bar)

ஒரு தண்டை அதன் ஒரு முனையில் ஓர் இடுக்கியில் செம்மையாக இடுக்கி மறு முனையைப் பக்கவாட்டில் இழுத்து விடவும். முதல் மூன்று வகை அதிர்வுகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. முதல் படம் மூல வகையையும், மற்ற இரு படங்களும் மேற்சுரங்களையும் குறிக்கின்றன. எல்லா வகையிலும் சுய முனையில் எதிர்க்கணுவும், இடுக்கிய முனையில் கணுவும் உள்ளன. இரண்டாவது வகை (b)-யில் இடையில் ஒரு கணுவும், ஓர் எதிர்க்கணுவும் உள்ளன. படம் (c)-யில் இடையில் இரு கணுக்களும் இரு எதிர்க்கணுக்களும் உள்ளன. இவையெல்லாம் தோற்றத்தில் ஒரு முனை மூடிய குழாயிலுள்ள காற்றுத்தம்பங்களின்

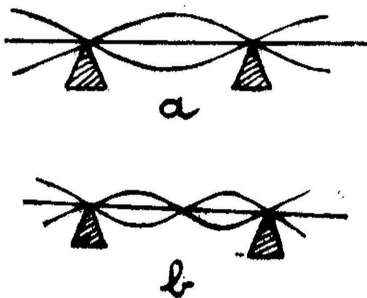
கெட்ட திர்வுகளை ஒத்துள்ளன. ஆனால் 'l' நீளமுள்ள மூடிய குழாயில் முதல் மேல்சுரம் எழும்போது திறந்த முனையிலிருந்து $l/3$ தூரத்தில் இடைப்பட்ட கணு தோன்றும். குறுக்கதிர் வில்லுள்ள தண்டில் முதல் மேற்சுரத்தில் இடைப்பட்ட கணு சுய முனையினின்றும் $0.226\,l$ தூரத்தில் தோன்றும். l என்பது தண்டின் நீளம். இதனால்தான் காற்றுத்தம்பத்தில் மேற்சுரம், மூலச் சுரத்தின் இரண்டாவது சீரிசையாகிறது. ஆனால் தண்டில் மேற்சுரம் மூலச் சுரத்தின் சீரிசையாகிறது. இது போன்றே 'C'-ஐ ஒத்திருக்கும் மூடிய குழாயில் அலைவுறும் காற்றுத்தம்பத்தில் இடைப்பட்ட இரு கணுக்களும் திறந்த முனையினின்று $l/5$, $3l/5$ தூரத்தில் அமையும். C-யில் குறிப்பிட்டுள்ள குறுக்கதிர் வில்லுள்ள தண்டில் இடைப்பட்ட கணுக்கள் சுய முனையினின்றும் $0.1321l$, $0.4991l$ தூரத்தில் தோன்றும். இதனால் மூடிய குழாயில் எழும் சுரம் மூலச்சுரத்தின் நான்காவது சீரிசையாகிறது. ஆனால், தம்பத்தில் எழும் சுரம் மூலச் சுரத்தின் சீரிசையில் அமையாது. பொதுவாக, குறுக்கலைவில்லுள்ள தண்டில் எழும் மேற்சுரங்கள் மூலச்சுரத்தின் சீரிசையிலிரா.



படம் 35

சுய சுய தண்டு (Free Free Bar)

இரு முனைகளும் சுயமாகவுள்ள l அலகு நீளமுள்ள தண்டு ஆதார முறையில் அதிரும்போது சுயமாகவுள்ள இரு முனைகளிலிருந்தும் $0{\cdot}2242l$ தூரத்தில் கணுக்கள் தோன்றும். தண்டை அதிர்விலாப்புள்ளியில் இரப்பர்த் தக்கைமேல் தாங்கி சாதாரண வில்லினால் மீட்டி அதிரச் செய்தால் முதல் மேற்சுரம் எழும்போது கடையிறு அதிர்விலா இடங்களும் $0.1321l$ தூரத்தில் தோன்றும்.



படம் 36

இடைப்பட்ட கணு தண்டின் மையத்தில் தோன்றும். உண்டாகும் மேற்சுரம், ஆதாரத்தின் சீரிசையிலிராது.

கட்டிய கட்டிய தண்டு (Fixed Fixed Bar)

இரு முனைகளிலும் கட்டப்பட்ட ஒரு தண்டை ஒரு வில்லினால் மீட்டி அதிரவிட்டால், சுய சுய தண்டில் கண்ட எல்லாச் சுர வரிசைகளும் தோன்றும். தண்டின் அதிர்வெண், தண்டின் நீளத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும், தண்டின் தடிமனின் நேர் விகிதத்திலும் இருக்கும். மேலும், இந்த அதிர்வெண், தண்டில் செல்லும் நெட்டலையின் திசை வேகத்தின் நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

இசைக்கவை (Tunning Fork)

இசைக்கவையின் வளர்ச்சிக்கு மூல காரணம் கோனிங் (Konig). பரந்த அதிர்வெண் வரிசையில் இசைக்கவைகளை அவர் செய்தார். சமீப காலமாக ஒலி அளவீடுகளின் ஆதார அதிர்வெண்ணுக இசைக்கவைகள் முக்கியத்துவம் பெற்றுள்ளன. மின்னாற்றலால் இயக்கப்படும் இசைக்கவைகள் மின்னாற்றல் நுண் அதிர்வெண் படித்தரங்களாக அமையும் வகையில் மின் சுற்றுகளைக் கட்டுப்படுத்த உதவுகின்றன.

இசைக்கவைகள் பொதுவாகக் காலத்தின் படித்தரமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இசைக்கவையின் அதிர்வு நேரங்கள் மாறிலியாக இருந்து காலப்பகுதிகளை நுண்மையாக அளக்கச் சௌகரியமான படித்தரமாக இருக்கின்றன.

சரியாகச் செய்யப்பட்ட இசைக்கவை, மென்மையாக மீட்டப் படும்போது வெளியிடும் ஒலி தூய சுரமாக இருக்கும். மேற் சுரங்களைப் பெறுதல் கடினம். அப்படி மேற்சுரங்கள் இருந் தாலும், மூலச்சுரத்துடன் ஒப்பிடும்போது சீக்கிரமே அழிந்து விடும். எனவே, இசைக்கவையை இயக்கிய சில விநாடிகளில் அதன் ஒலி அநேகமாகத் தூய்மையாயிருக்கும். இசைக்கவையை ஒத்திசைவுப் பெட்டியில் பொருத்தி வைத்தால், அதன் ஒலி இன்னும் தூய்மையாக இருக்கும். பெட்டி ஓர் இயற்கைச் சுரக் கோவையைப் பெற்றிருக்கும். ஆனால், மூலச்சுரத்தையன்றி அவற்றில் மற்றெதுவும் இசைக்கவையின் சுரத்தினை ஒட்டி யிராது. அதனால் இசைக்கவையின் சுரம் பலப்படுத்தப்படும்.

பல சோதனையாளர்கள் பல நோக்கில் இசைக்கவையை எடுத்துக்கொண்டார்கள். கிளாட்னியைப் போன்ற ஆரம்ப கால ஆராய்ச்சியாளர்கள், சுய சுய தண்டை '*U*' வடிவில் அமையுமாறு

அதன் மத்தியில் வளைத்து உருவிக்கப்பட்டதாய் இசைக்கவை யைக் கருதினர். வளைந்த இரு புயங்களும் பிராங்ஸ் (prongs) என அழைக்கப்பட்டன. அதன் உறுதிக்கு உதவுமாறு நடுவில் ஒரு தண்டு சேர்க்கப்பட்டுள்ளது.

இசைக்கவையின் இவ்வித அமைப்பு இசைக்கவை அதிரும்போது குறுக்கலைவில் இரு புயங்களும் ஒன்றையொன்று நெருங்கி விலகுவதைக் காட்டுகின்றது. படம் 35 (a)-யில் நேரான தண்டு அதிரும்போது அதன் இரு முனைகளும் ஒன்றாக மேலும் கீழும் நகருதல் அந்த வளைந்த தண்டில் தொடர்ந்து அமையும்.



படம் 37

ஒரே மாதிரியான இரு பதித்த சுய தண்டுகளை அவற்றின் பதித்த முனைகளில் இணைத்து ஓர் உலோகக் கட்டையுடன் பொருத்திச் செய்யப்பட்டதாய் இசைக்கவையை ராலே பிரபு கருதினர். இசைக்கவை அதிரும்போது புயங்களின் ஈர்ப்பு மையம் எதிர்த் திசையில் ஒரே வீச்சில் ஒரு வட்டப்பாதையில் அதிரும். கட்டையில் தோன்றும் எதிர்வினை, கட்டையின் ஈர்ப்பு மையத்தைப் புயங்களின் அதிர்வுத் திசையில் நகராதிருக்கு மாறு செய்யும்; ஆனல், பிராங்ஸ்களின் நீளத்தின் திசையில் அதன் சிறு அதிர்வுகளைத் தோற்றுவிக்கும். தண்டிம் எழும் சிறு நெட்டதிர்வுகளை இது விளக்குகின்றது.

இசைக்கவையின் அதிர்வெண்

இசைக்கவையின் வளைவில் உள்ள பட்டையாலும் அங்கு இணைக்கப்பட்ட தண்டினுலும் அதன் அதிர்வுகள் சிக்கலுள்ள வையாக ஆனுலும், ஒவ்வொரு புயங்களும் ஒரு பதித்த சுய தண்டாகக் கருதப்படுவதால், அதன் ஆதார அதிர்வெண்

$$N = \frac{m^2 k}{2\pi l^2}\sqrt{\frac{q}{p}}$$ என ஆகும்.

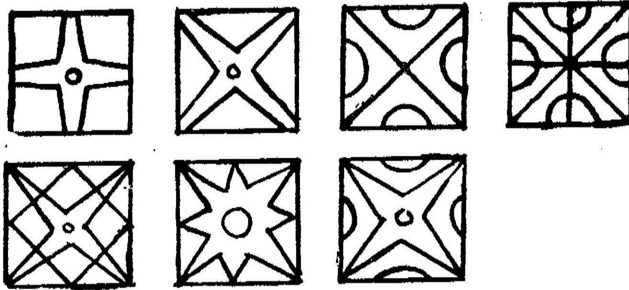
இதில் $k = \frac{a}{\sqrt{12}}$. 'a' என்பது புயத்தின் தடிமன், 'l' நீளம், 'q' யங்கின் குணகம், 'p' இசைக்கவை செய்யப்பட்ட பொருளின் அடர்த்தி. m—1·875 அளவான ஒரு மாறிலி. எனவே, இசைக் கவையின் அதிர்வெண், புயத்தின் தடிமனின் நேர்விகிதத்திலும், புயத்தின் நீளத்தின் இருமடங்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருக்கும்.

மேலும், அந்த அதிர்வெண் கவையின் உலோகத்தில் நெட்டலைவு களின் திசை வேகத்தின் நேர் விகிதத்திலிருக்கும்; ஆனால் புயத்தின் அகலத்தைப் பொருத்திராது.

வெப்ப மாறுதலினால் இசைக்கவையின் புயத்தின் தடிமன், நீளம் மாறுவதோடன்றி, இசைக்கவை பொருளின் அடர்த்தியும், 'யங்' குணகமும் மாறுபடுகின்றன. எனவே, அதன் அதிர்வெண் மாறுபடும். வெப்ப ஏற்றத்திற்கேற்ப அதிர்வெண் குறைவு படும். அதிர்வெண்ணின் வெப்பநிலை எண் 0·000112 என சோதனைகள்மூலம் கோனிங் காட்டியுள்ளார்.

தட்டுகளின் குறுக்கதிர்வுகள் (Transverse Vibration of Plates)

சோதனைகள்மூலம் தட்டுகளின் அதிர்வுகளைக் கண்டவர் கிளாட்னி ஆவார். பல வகைச் சமச் சீரிலமைந்த கண்ணாடித் தட்டுகளைக் கிளாட்னி பயன்படுத்தியுள்ளார். தட்டுகளைச் சமச்சீர் மையத்தில் துளைத்து, செங்குத்துத் தாங்கியில் பற்றிப்பிடிப்பான் திருகுமூலம் பிடிக்கவும். தட்டின்மேல் நுண்மணலைச் சீராகத் தூவி, தட்டை வில்கொண்டு மீட்டவும். தட்டின் விளிம்பில் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட புள்ளிகளில் தட்டை விரல்களால் பிடித்து, அவ்விடங்களில் தட்டின் குறுக்கதிர்வுகளைத் தடையுறச் செய்யவும். மணற்றுகள்கள் இடமாற்றம் பெற்று அதிர்விலாக்



படம் 38

கோடுகளில் கூடுகின்றன. தட்டில் தோன்றும் அதிர்விலாக் கோடுகளின் அமைப்புகளுக்குக் கிளாட்னி படங்கள் எனப்படும். படம் 38-ல் சதுரத் தட்டில் தோன்றும் சில படங்கள் காட்டப் பட்டுள்ளன. தட்டைப் பல இடங்களில் பற்றிப் பிடித்து சதுரத் தட்டில் 52 விதப் படங்களையும், வட்டத் தட்டில் 45 விதப் படங்

களையும், அறுகோணத்தட்டில்30 விதப் படங்களையும், நீள்வளையத் தகட்டில் 26 விதப் படங்களையும் கிளாட்னி கொடுத்துள்ளார்.

மணலுக்குப் பதில் லிகோபோடியம் போன்ற நுண் தூளைத் தட்டில் தூவி வைத்தால், தூள்கள் எதிர்க்கணுக்களில் கூடு வதைச் சாவர்ட் காட்டியுள்ளார். இதற்குக் காரணம் காற்றின் அலைவு என பாரடே காட்டியுள்ளார் வெற்றிடத்தில் தூள்கள் அதிர்விலாக் கோடுகளில் கூடும்.

மையத்தில் பதிக்கப்பட்ட வட்டத் தட்டுகள் இரு வகை அதிர்விலாக் கோடுகளைக் கொடுக்கும்.

சவ்வுகளில் குறுக்கதிர்வு

எல்லாப் பக்கங்களிலும் இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்டுள்ள, வளைந்து கொடுக்கும் தன்மையுள்ள திடப்பொருளினாலான மிக மெல்லிய தட்டே கொள்கையளவில் சவ்வாகப் பயன்படுகின்றது. இழுவிசையிலுள்ள கம்பியைப் போல் சவ்வின் இழுவிசையும் அதன் அதிர்வினால் மாறாதிருப்பதாகக் கொள்வோம். சவ்வில் எழும் மேற்சுரங்கள் சீரிசை வரிசையில் இரா. சவ்வின் ஓரலகு பரப்பின் நிறை மையத்திலிருந்து அதன் விளிம்பை நோக்கிச் சீராகக் குறைந்திருக்குமானால், அது எழுப்பும் சுரங்கள் சுர வரிசையிலிருக்கும். இக் கொள்கை இந்திய இசைக் கருவியான தபேலாவில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இதற்குச் செயற்கை முறையில் சவ்வில் நிறையேற்றி, அதன் ஓரலகு பரப்பின் நிறை மையத்திலிருந்து விளிம்பை நோக்கிச் சீராகக் குறையுமாறு செய்யப்படுகின்றது.

மணியோசை (Bell Sound)

பல்வேறு மணிகள் வெவ்வேறு காரியங்களுக்குப் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. ஆனால், எல்லா வகை மணிகளும் அவற்றின் சமச்சீர் மையத்தில் தாங்கப்பட்டு, விளிம்பில் அடிக்கப்பட்டு ஒலி எழுப்புகின்றன. மணிகள் பல வளைந்த வட்டத் தகடுகள் அல்லது ஒரு முனை மூடப்பட்ட உருளைக்கூடுகள் அமையப் பெற்றவையாய் உள்ளன. மணியில் நடுவில் தொங்கவிடப்பட்ட நாக்கு எனும் கனமான உலோகத் தண்டு பக்கத்திலுள்ள தகடுகளின்மீது மோதும்பொழுது பல வளை தகடுகளும் பல பிரிவுகளாக அசைந்து ஒலியை உண்டுபண்ணுகின்றன. மணியின் அதிர்வுகள் வட்டத் தகடுகளின் அதிர்வை ஒத்திருக்கும். இதில் அதிர் விலாக் கோடுகள் இரு வகைப்படும்: (அ) தாங்கு மையத்தி லிருந்து முனை வரை வியாபித்து, மணியை இரட்டைப்படச் சம பகுதிகளாகப் பிரிக்கும் ஆரக்கோடுகள்; (ஆ) தாங்கு தானத்தி

லிருந்து வெவ்வேறு தொலைவில் அமையும் அதிர்விலா வட்டக் கோடுகள். இவ்வாறு மணி பல பிரிவுகளாகப் பிரிந்து துடிக்கும் பொழுது, முறையற்று எழும் மேற்சுரங்களினால் ஒலி அருவருப் பாயில்லாதிருக்கும்பொருட்டு அடியில் சன்னமாகவும், மேலே வரவரத் தடித்தும் இருக்குமாறு மணிகள் வார்க்கப்படுகின்றன. மணி எழுப்பும் வெவ்வேறு மேற்சுரங்கள் சீரிசை வரிசையில் அமையா. மணியோசை இனிமையாக இருக்கும்பொருட்டு இணைச்சுருதிகள் (composite notes) முறையாகத் தொடர்ந்து வருமாறு மணிகள் அமைக்கப்படுகின்றன.

தண்டுகளின் குறுக்கதிர்வுகள் (Torsional Vibrations of Bars)

வட்டமான குறுக்கு வெட்டுள்ள குழாய் அல்லது தண்டைத் தக்க விசைகளால், குறுக்குப் பகுதி அதன் தளத்திலேயே இருக்குமாறு முறுக்கி விடலாம். தண்டிலுள்ள முறுக்கை எதிர்க்கும் விசை தண்டின் விறைப்புக் குணகத்தைப் பொருத் திருக்கும். யங்குணகம் q, விறைப்புக் குணகம் n, பாய்ஸான் தகவு σ இவற்றை இணைக்கும் சமன்பாடு $\sigma = \frac{q}{2n} - 1$

$$\text{எனவே, } \frac{q}{n} = 2(\sigma + 1) \text{ ஆகும்.}$$

σ-ன் மதிப்பின் எல்லைகள் $O \rightarrow 1$ ஆகையால், n-ன் மதிப்பு $\frac{q}{2}, \frac{q}{3}$ -க்குள் அடங்கும்.

ஆரம் r, சுவரின் கனம் δr உள்ள மெல்லிய குழாயை எடுத்துக் கொள்வோம். தோற்றுவாயிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள ஒரு பகுதியின் கோண இடப்பெயர்ச்சி θ ஆக இருந்தால், குழாய்ப் பொருளின் சறுக்குப் (Shear) பெயர்ச்சி $r\frac{d\theta}{dx}$ ஆகும்.

ஓரலகு பரப்பிலுள்ள எதிர்க்கும் மீட்சி விசை $= nr\frac{d\theta}{dx}$

குழாயின் வெட்டுப் பகுதியின் பரப்பு $= 2\pi r\,\delta r$

அச்சைச் சுற்றிய திருப்புத் திறன் $= 2\pi r^3\,\delta r \,.\, \frac{d\theta}{dx}$

δx தடிமனுள்ள ஒரு கீற்றின்மேல் செயல்படும் மீள்விசையின் திருப்புத் திறன் $= 2\pi r^3\,\delta x.\,\delta r\frac{d^2\theta}{dt^2}$

ஒரு கீற்றின் நிலைமைத் திருப்புத் திறன் $= 2\pi r\,\delta r\,\delta x\,\rho r^2$

ஆகையால் $\rho \dfrac{d^2\theta}{dt^2} = n. \dfrac{d^2\theta}{dx^2}$

(δx நீளவாக்கில் எடுக்கப்பட்டுள்ளது.)

இதில் r அடங்கியில்லையாதலால், இக் கோவை தண்டுகளுக்கும், வெவ்வேறு ஆரமுள்ள குழாய்களுக்கும் பொருந்தும். நெட்டலைவு, முறுக்கலைவு இவற்றின் பரப்பு வேகம் முறையே

$$C = \sqrt{q/\rho},\ C^1 = \sqrt{n/\rho} \text{ ஆகும்.}$$

ஆகையால் $\dfrac{C^1}{C} = \sqrt{q/n} = \sqrt{\dfrac{2(\sigma+1)}{1}}$

எஃகுத் தண்டின் பாய்ஸான் தகவின் மதிப்பை 0·25 என எடுத்துக்கொண்டால், இந்த இரு வேகங்களின் தகவு

$$\frac{C}{C^1} = \sqrt{(\sigma+1)}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 5} = 1 \cdot 58 \text{ ஆகும்.}$$

q, n இவற்றின் தகவும் 1·58 ஆகும்.

தண்டை அதன் மையத்தில் பதித்துப் பிடித்திருக்கும்பொழுது மூலச் சுரத்தின் அதிர்வெண் $N = \dfrac{1}{2l} \sqrt{n/\rho}$ ஆகும்.

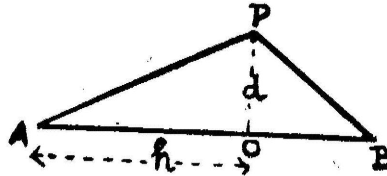
நெட்டலைவுகளிலுள்ளதைப் போல் ஒவ்வொரு சுரப் பகுதிகளுக்கும் கணுக்களும், எதிர்க் கணுக்களும் தோன்றும்.

இந்த எஃகுத் தண்டின் ஒரு முனைக்குச் செங்குத்தாக உறுதியாக இணைக்கப்பட்ட ஒரு சிறு பித்தளை நெம்புகோல் ஒரு காரீயச் சுத்தியால் தட்டப்பட்டால் தண்டு நெட்டலைவு, குறுக்கலைவு, முறுக்கலைவுகளைச் செய்யும். எந்திர இயக்கத்தால் தண்டில் உண்டாகும் மாறுபடும் தகைவுகளால் எழும் திசைமாறு காந்த விளைவுகளிலும், தண்டின் வெவ்வேறு முறை அதிர்வுகளிலும் வியத்தகு ஆராய்ச்சிகளை ரான்ங்கைன், யங் முதலானோர் செய்துள்ளனர். மூன்று எலெக்ட்ரான் வால்வு ஒலிப்பெருக்கி, தொலைபேசி இவற்றுடன் இணைந்த துருவு சுருளைக் கொண்டு செய்த சோதனைகள் வெவ்வேறு வகை அதிர்வுகளையும் சார்ந்த அதிர்வெண்களைப் புலப்படுத்திற்று. தண்டின் நெட்டலைவு, முறுக்கலைவு இவற்றின் அதிர்வெண்களை ஒப்பிட்டுப் பாய்ஸான் தகைவைக் காணலாம்.

மீட்டிய நரம்பின் அதிர்வுகள்

நரம்பு இசைக்கருவிகளில் நரம்பின் அதிர்வே சுரத்தை எழுப்புகிறது. நரம்புக் கருவிகளை, கம்பி அதிரும் முறைக்கேற்ப, மீட்டப்படும் நரம்பிசைக் கருவி, தட்டப்படும் நரம்பிசைக் கருவி, வில்லதிர்க்கப்படும் நரம்பிசைக் கருவி என மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம் என்பதை நாமறிவோம். மீட்டப்பட்ட கம்பிகளின் அதிர்விற்கான கொள்கைகளை ஆராய்வோம்.

இரு முனைகளிலும் பதிக்கப்பட்ட l நீளமுள்ள AB என்னும் நரம்பை எடுத்துக்கொள்வோம். முனை A-யிலிருந்து h தொலைவில் O என்ற புள்ளியில் நரம்பைப் பக்கவாட்டில் இழுத்துத் திடீரென்று விட்டால், நரம்பு மீட்டப்படுவதாகப் பொருள்படும். O-ன் ஆரம்ப இடப்பெயர்ச்சி d ஆகும்.



படம் 89

இரு முனைகளிலும் பதித்து மீட்டப்பட்டுக் குறுக்கதிர்வுள்ள கம்பிகளின் இடப்பெயர்ச்சிக்கான பொதுவான சமன்பாட்டைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்:

$$y = A \sin \frac{\pi x}{l} \sin \frac{\pi ct}{l} \quad ...(1)$$

C என்பது கம்பியில் குறுக்கலையின் வேகம்.
வெவ்வேறு மேல் சுரங்களைக் கொண்ட பல்கூட்டதிர்வானால், இயக்கத்தின் சமன்பாட்டை பெர்னேலியின் முறையில்

$$y = \sum_{S=1}^{S=\infty} \sin \frac{S\pi x}{l} \left[A_s \cos \frac{S\pi ct}{l} + B_s \sin \frac{S\pi ct}{l} \right] \quad ...(2)$$ என்று

எழுதலாம். S என்பது மேல் சுரத்தின் வரிசை, A-யும் B-யும் வீச்சுகள்.

$t = O$ ஆக இருக்கும்பொழுது, ஆரம்ப இடப்பெயர்ச்சி y_0 ஆனல்,

$$A_s = \frac{2}{l} \int_0^l y_0 \sin \frac{S\pi x}{l} \, dx$$

$$B_s = \frac{2}{\pi cs}\int_0^l y_0 \sin\frac{S\pi x}{l}\, dx \text{ ஆகும்.}$$

ஆரம்பத்தில் நரம்பு நிலைத்திருப்பதால், $y_0 = O$ ஆகும். எனவே, $B = O$ ஆகும். ஆகையால் சமன்பாடு (2) கீழ்க்கண்டவாறு மாறுபடும்:

$$y = \sum_{S=1}^{S=\infty} A_s \sin\frac{S\pi x}{l} \cos\frac{S\pi ct}{l} \quad \ldots(3)$$

படத்தில் கண்டபடி, மீட்டப்பட்டு O-விலிருந்து P-க்கு விலகியுள்ள கம்பியின் ஆயம் ($t = o$ ஆக இருக்கும்பொழுது) $x = h, y_0 = d$.

A-யுக்கும் O-வுக்கும் இடைப்பட்ட வேறு புள்ளிகளில் A-யிலிருந்து x தொலைவில் $y_0 = \frac{xd}{h}$; B-யுக்கும் O-வுக்கும் இடைப்பட்ட புள்ளிகளில் $y_0 = d\left[\frac{l - x}{l - h}\right]$, ஆகையால்

A_s-ன் சமன்பாடு

$$A_s = \frac{2d}{l}\left[\int_0^h \frac{x}{h} \sin\frac{S\pi x}{l}\, dx + \int_h^l \left(\frac{l-x}{l-h}\right) \sin\frac{S\pi x}{l}\, dx\right] \quad \ldots(4)$$

இதைத் தொகு ஆக்கம் செய்ய,

$$A_s = \frac{2d \,.\, l^2}{\pi^2 S^2 h\,(l-h)} \sin\frac{S\pi h}{l} \text{ ஆகும்} \quad \ldots(5)$$

எனவே, மீட்டப்பட்ட ஒரு நரம்பின் ஒரு புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சி

$$y = \frac{2d\, l^2}{\pi^2 h\,(l-h)} \sum_{S=1}^{S=\infty} \frac{1}{S^2} \sin\frac{S\pi h}{l} \,.\, \sin\frac{S\pi x}{l} \,.\, \cos\frac{S\pi ct}{l} \quad \ldots(6)$$

A-யின் மதிப்பிலிருந்து ஒரு சுரத்தின் வீச்சு S-ன் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்திலிருப்பது விளங்கும். S-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கச் சுரத்தின் செறிவு விரைவில் தேய்வுறும்.

தொகுப்பின் சுரப்பண்பு, அதிலடங்கிய மேற்சுரங்களைப் பொருத்திருக்கும். ஒரு முனையிலிருந்து h தொலைவில் இயக்கப்பட்ட நரம்பில் கிடைக்கக்கூடிய மேற்சுரங்கள் $S = r\frac{l}{h}$ ஆகும். அதாவது S அதிகமாவதற்கு h குறைவாகவும், r அதிகமாகவும்

இருக்க வேண்டும். ஆகையால், பல உயர் மேற்சுரங்களை எழுப்ப நரம்பைப் பல சம பகுதிகளாகப் பிரித்து, ஒரு முனையின் சமீபப் புள்ளியில் மீட்ட வேண்டும். இவ்வாறாக, ஒரு முனைக்கருகில் மீட்டப்பட்ட நரம்பு மேற்சுரத்தின் ஒரு முழு சுர வரிசையையும் கொடுக்க ஒலி இனிமையாயிருக்கும்.

உதாரணங்கள்

(1) இரண்டு ஒலி அலைகள் விநாடிக்கு 3·3 விம்மல்களை உண்டுபண்ணுகின்றன. அவற்றின் அலை நீளங்கள் 1·00 மீட்டர், 1·01 மீட்டர் ஆனால், ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடுக.

ஒலியின் வேகம் C ஆக இருக்கட்டும்.

ஒலியலையின் அதிர்வெண்கள் $\frac{C}{1\cdot00}, \frac{C}{1\cdot01}$ ஆகும்.

$$\frac{C}{1\cdot00} - \frac{C}{1\cdot01} = 3\cdot3$$

$$C\left(\frac{1}{1\cdot00} - \frac{1}{1\cdot01}\right) = 3\cdot3$$

$$0\cdot01\,C = 3\cdot3 \times 1\cdot01$$

$$\therefore C = 3\cdot3 \times 1\cdot01/0\cdot01$$

$$= 333\cdot3$$

ஆகையால் ஒலியின் **வேகம் = 333·3 மீட்டர்/விநாடி.**

(2) ஓர் ஊடகத்தில் 250 அதிர்வெண் உள்ள நிலையலைகள் உண்டாகின்றன. அவ்வூடகத்தில் ஒலியின் வேகம் 335·0 மீ. வி. ஆனால், அடுத்தடுத்துள்ள இரு எதிர்க்கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவைக் கணக்கிடுக.

அதிர்வெண் = 250

ஒலி வேகம் = 335·0 மீ./வி.

∴ அலை நீளம் = 335·0/250

= 1·34 மீட்டர்.

∴ எதிர்க் கணுக்களுக்கு இடையேயுள்ள **தூரம் = 0·67 மீ.**

(3) கொள்ளளவு 200 க. செ. மீ., கழுத்தின் நீளம் 1 செ.மீ., கழுத்தின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு 2 ச. செ. மீ. உள்ள ஒத்திசைவியின் அடிப்படை அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடுக. காற்றில் ஒலியின் வேகம் = 350 மீ./வி.

$$\text{ஒத்திசைவியின் அதிர்வெண்} = \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{LV}}$$

$$= \frac{35000}{2\pi}\sqrt{\frac{2}{1\times 200}}$$

$$= 557{\cdot}1$$

ஒத்திசைவியின் அடிப்படை அதிர்வெண் = 557·1 ஹெர்ட்ஸ்

வினாக்கள்

1. சாவர்ட்ஸ் பல்சக்கரம், தட்டுச்சங்கு இவற்றின் அமைப்பையும், அவை செயல்படும் முறையையும் விளக்குக. தட்டுச்சங்கின் பயன் யாது?

2. ஒரு பக்கம் திறந்துள்ள குழாயில் எப்படி நிலையலைகள் உருவாகின்றன என்பதை விளக்குக.

3. ஹெல்ம்ஹோல்ஸின் ஒத்திசைவியின் கொள்கையை விளக்கி, அதில் எழும் மூலச்சுரத்திற்கு ஒரு கோவையைப் பெறுக.

4. ஒரு லிட்டர் கொள்ளளவுள்ள ஓர் ஒத்திசைவியின் கழுத்தின் நீளம் 5 செ.மீ. கழுத்தின் விட்டம் 2 செ.மீ. அதிலுள்ள காற்றில் எழும் மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடுக (132).

5. இழுவிசையிலுள்ள கம்பியிலெழும் குறுக்கலைவுகளின் விதிகளைச் சோனாமீட்டரைக் கொண்டு எப்படி மெய்ப்பிக்கலாம்?

6. சோனாமீட்டர் கம்பியின் நீளங்கள் 0·50 மீ., 0·502 மீட்டர் ஆக இருக்கும்பொழுது வினாடிக்கு 2 விம்மல்கள் எழுந்தால், அந் நீளங்களின் அதிர்வெண்களைக் காண்க. (502, 500)

7. கீழ்க் காண்பனவற்றிற்குச் சிறு குறிப்பு வரைக :

 (i) கிளாட்னியின் படங்கள்
 (ii) மணியோசை
 (iii) தண்டுகளின் குறுக்கதிர்வுகள்
 (iv) அதிரும் மண்டலங்கள்

6. காப்பதிர்வுகள்

(Maintained Vibrations)

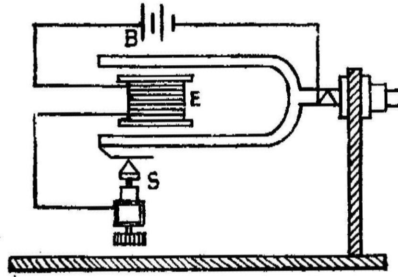
ஒரு கம்பி, தண்டு, இசைக்கவை போன்ற பொருள்களை அதிரவிட்டால், அவை தொடர்ந்து அதிர்வதில்லை. சிறிது நேரத்தில் அதிர்வுகள் அழிந்து விடுகின்றன. காற்றுப்பாகியல், உராய்வு போன்ற தடையுறும் புறவிசைகள் அதிர்வைத் தடுப்பதே இதற்குக் காரணம். அதிர்வுகள் அழியாமல் நீண்டநேரம் காக்கப்பட வேண்டிய நிலை ஏற்படலாம். அதிர்வுகளை இயல்பதிர்வுகள் (Free Vibrations), திணிப்பதிர்வுகள் (Forced Vibrations), காப்பதிர்வுகள் (Maintained Vibrations) என மூவகைப் படுத்தலாம். ஒரு பொருளின் அதிர்வுகளில் புறவிசைகள் தலையிடாமல் இருப்பின், அவற்றிக்கு இயல்பதிர்வுகள் என்று பெயர். சிற்சில சமயங்களில் வெளிச் சீரிசை விசைகளின் அதிர்வெண்களுடன் பொருள்கள் அதிர்வதுண்டு. அந்த அதிர்வுகள் திணிப்பதிர்வுகள் எனப்படும். புறவிசைகள் தலையிட்டும், பொருள்கள் தங்கள் இயல்பான அதிர்வெண்ணுடன் அதிருமாயின், அவற்றிற்குக் காப்பதிர்வுகள் என்று பெயர். காப்பதிர்வுகளில் அவற்றை உண்டுபண்ணப் புறவிசைகள் தேவையில்லை. ஆனால், அவை அழியாமல் காப்பதற்கே புறவிசைகள் தேவைப்படுகின்றன. அதிர்வுகள் காக்கப்படும் சில முறைகளை இங்கு விவரிப்போம்.

1. (அ) இசைக்கவையின் மின் காப்பதிர்வுகள் (மின்னிசைக்கவை- Electrically Maintained Tuning Fork)

ஒரு மின் காந்தத்தின் உதவிகொண்டு, ஓர் இசைக்கவையின் அதிர்வை அழியாமல் தொடர்ந்து நிலைத்திருக்கச் செய்யலாம். எஃகினாலான குறைந்த அதிர்வெண்ணுடைய ஓர் இசைக்கவையின் புயங்களுக்கிடையே ஒரு மின்காந்தம் (E) வைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்காந்தத்தின் சுருளின் ஒரு முனை மின் கல அடுக்கு வழியே இசைக்கவையின் தண்டுடன் இணைக்கப் பெற்றுள்ளது. மற்றொரு முனை இசைக்கவையின் ஒரு புயத்தின் அருகிலுள்ள தொடர்புத்திருகுடன் (S) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. திருகின் முனை பிளாட்டினத்தால் செய்யப்பட்டுள்ளது. திருகு

முனை அதன் அருகிலுள்ள புயத்தில் பதிக்கப்பட்டுள்ள ஒரு மெல்லிய உலோகப்பட்டையைத் தொடும் நிலையில் இருக்கும்.

திருகு முனையை உலோகப்பட்டையைத் தொடவைத்து மின் சுற்றை இணைத்துவிட்டால், மின்காந்தம் இயக்கம் பெற்று, இசைக்கவை புயத்தைத் தன்னை நோக்கி ஈர்த்திழுக்கும். திருகு முனையுடன் கவையின் தொடர்பு நீங்க, மின் சுற்றும் தொடர்பற்றுவிடும். அதனால் கவைபுயம் தன் முன் நிலைக்குத் திரும்பித் திருகுமுனையைத் தொடும். மீண்டும் மின்சுற்று இணைப் புற, மின்காந்தம் இயக்கம் பெற்று, புயத்தைத் தன்னை நோக்கி இழுக்கும். எனவே, இசைக்கவை தன் நிலைமைப் பண்பாலும், மின்காந்தத்தின் ஈர்ப்பாலும் தொடர்ந்து அதிர்ந்து கொண்டிருக்கும். இம் முறையில் இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் மின்விசையால் காக்கப்படுகின்றன.



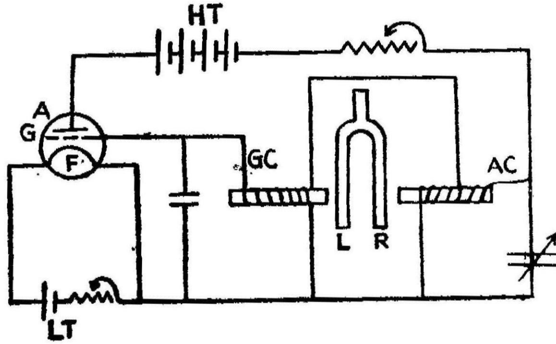
படம் 40

இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் திறம்படக் காக்கப்பட வேண்டுமாயின், மின்காந்தத்தில் மின்நிலைமம் (Induction) அவசியம் தேவை. மின்நிலைமம் அதிகமாக உள்ள மின்சுற்றில் அதிக எதிர்மின் இயக்குவிசை இருக்கும். இதனால் தொடர்பறுப் பானில் பலமான மின்சுடர் எழும். மின்சுற்றில் ஒரு மின்தடை யையும், திருகு தொடர்பு இடைவெளிக்கு இணையாக ஒரு மின் தேக்கியையும் இணைத்து மின்சுடர் வலிமையைக் குறைக்கலாம். மாறிக்கொண்டேயிருக்கும் மின்காந்தத்தின் அதிர்வெண், இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணால் கட்டுப்படுத்தப்படுவதால், இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் திறம்படக் காக்கப்படுகின்றன.

(ஆ) இசைக்கவையின் எலக்ட்ரான் வால்வு காப்பதிர்வுகள் (Valve Maintained Fork)

அதிக அதிர்வெண்ணுள்ள இசைக்கவையின் அதிர்வுகளைக் காக்க எக்கிள்ஸ் (Eccles) முறை சிறப்பாகப் பயன்படுகின்றது.

இசைக்கவையான இரு புயங்கள்மீதும் இரு மின்காந்தங்கள் செயல்படுகின்றன. மின்காந்தங்களின் சுருள்களிரண்டும்



படம் 41

எதிர்த்திசைகளில் சுற்றப்பட்டுள்ளன. ஒரு மின்காந்தம் ஓர் எலக்ட்ரான் வால்வின் கிரிட் சுற்றிலும் (Grid Circuit), மற்றொன்று ஆனோடு சுற்றிலும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. வால்வின் மின்னிழை (Filament) ஒரு குறை மின்னழுத்த (Low tension) மின்கலத்தால் சூடாக்கப்படுகின்றது. ஆனோடு மின்கல அடுக்கின் எதிர்முனையும், மின்னிழை மின்கலத்தின் எதிர் முனையும் ஒரு மின்தேக்கிமூலம் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இசைக்கவையின் இரு புயங்களும் நிரந்தரமாகக் காந்தமாக்கப்பட்டுள்ளன.

இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் காக்கப்படும் முறையைக் கீழ்க்கண்டவாறு விவரிக்கலாம்: முதலில் இசைக்கவையை இயக்கி விட்டால், அதன் புயங்கள் அலைவுறும். இரண்டு புயங்களும் தங்களது மின்காந்தச் சுருளினின்று விலகிச் சென்று கொண்டிருக்கும் தருணத்தைக் கவனிப்போம். R என்னும் புயம் GC என்னும் சுருளை நோக்கிச் சென்றுகொண்டிருப்பதால், அதில் ஒரு மின்னியக்குவிசை தூண்டப்படுகின்றது. இதனால் கிரிட்டின் மின்னழுத்தம் உயர்ந்து ஆனோடு மின்னோட்டம் கூடுகின்றது. இம் மின்னோட்டம் ஆனோடு சுற்றுக்குச் செல்கிறது. இதனால் மற்றொரு மின்காந்தம் L என்னும் புயத்தை ஈர்க்கிறது. அதனால் புயம் L, புயம் R-ஐ நெருங்குகிறது. அது கவையின் இயக்கத்திற்கு உதவி செய்கிறது. அதாவது இசைக்கவையின் அலைவுறு இயக்கம் நீடிக்க எலக்ட்ரான் வால்வு உதவுகிறது.

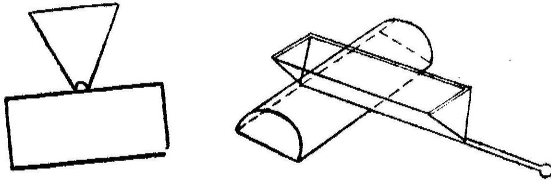
(இ) இழுவிசையிலுள்ள கம்பியை ஒரு நிலைகாந்தத்தின் துருவங்களுக்கிடையில் செலுத்தி, அதில் மாறுதிசை மின்னோட்

டத்தை ஒரு செவியுணர் அதிர்வெண் அலையியற்றியிலிருந்து பாய்ச்சினால், கம்பியை அலைவு நிலையில் இருக்கச் செய்யலாம். இரு குதிரைகளுக்கிடையேயுள்ள கம்பியின் நீளத்தை ஒத்திசைவு நீளத்திற்குச் சமமாக இருக்குமாறு சரி செய்யலாம். மாறுதிசை மின்னோட்ட விசைக்கம்பியில் செயல்பட்டு, அதை அதிர்வுறச் செய்கிறது. இவ்வாறு கம்பியில் அதிர்வுகள் உண்டாகிக் காக்கப் படுகின்றன.

2. வெப்பக் காப்பதிர்வுகள் (Heat Maintained Vibrations)

(அ) ட்ரெவெலியன் ராக்கர் (Trevelyan Rocker) : வெப்ப ஆற்றலின் உதவி கொண்டு திட, வாயுப்பொருள்களில் அதிர்வுகளைக் காக்க முடியும் என்பதை ட்ரெவெலியன், லெஸ்லி (Leslie), பாரடே (Faraday) முதலானோர் விளக்கத்துடன் நிரூபித்துள்ளனர். இதை ஆராய்வதற்கு ட்ரெவெலியன் அமைத்த உருவப்படிவத்திற்கு 'ட்ரெவெலியன் ராக்கர்' எனப் பெயர்.

இதன் முக்கிய பாகம் பித்தளை அல்லது செம்பால் செய்யப் பட்ட நீண்ட முக்கோணப் பட்டகமாகும். அதன் முதுகுப்புறத் தில் விளிம்பிற்குப் பதில் இரு வரப்புகள் அமையுமாறு குழிவு (Groove) கீறப்பட்டுள்ளது. விளிம்புகள் உப்புத்தாளினால் மெருகிடப்பட்டுள்ளன. ஒரு முனையில் குமிழ் (Knob) கொண்ட ஒரு தண்டு பட்டகத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஈயத்தா லான அரை உருளை வடிவப் பட்டகம் மேசையின்மீது வைக்கப் பட்டுள்ளது. ராக்கரை அதன் வரப்புகள் பட்டகத்தின்மீது பதியுமாறும், குமிழ் மேசையின்மீது தங்குமாறும் வைக்கலாம். ராக்கரை மெதுவாகத் தட்டினால் இசை ஒலியை எழுப்பும்.



படம் 42

ராக்கரை அனலில் காட்டி மிதமாகச் சூடேற்றி ஈயக் கட்டியின்மீது முன் சொன்னதைப் போல் வைத்தால், இனிமையான இசையொலி எழுவதைக் கேட்கலாம். வெப்ப மாறுபாட்டால் ராக்கர் திடப்பொருளில் உருப்பெருக்கமும், உருச்

சுருக்கமும் விரைவாக ஏற்படுவதால், அவை அதிர ஆரம்பிக்கின்றன. அதிர்வுகள் நெடு நேரம் நீடிப்பதைக் காணலாம்.

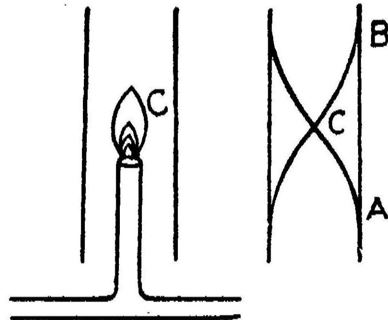
இந் நிகழ்ச்சிக்கான விளக்கத்தை லெஸ்லி என்பவர் கொடுத்துள்ளார். சூடேற்றப்பட்ட ராக்கரை ஈயக்கட்டியின்மேல் வைக்க, ராக்கரின் ஒரு வரப்பு ஈயக்கட்டியைத் தொடும்பொழுது, வெப்பம் ஈயக்கட்டிக்குப் பரவ, அது விரிவடைந்து வரப்புக்குக் கீழே ஈயக்கட்டியில் ஒருதிமில் (Hump) உருவாகின்றது. இதுராக்கரைச் சிறிது சாய்க்க அடுத்த வரப்பு ஈயக்கட்டியில் பதிகின்றது. வெப்பம் ஈயக்கட்டியில் பரவ அந்த இடத்தில் ஒரு திமில் உண்டாகின்றது. உடனே ராக்கர் மறுபடியும் சாய்க்கப்படுகின்றது. மறைந்த முதல் திமில் மீண்டும் உருவாகி, ராக்கரைத் திரும்பவும் சாய்க்கிறது. இவ்வாறாக, ராக்கரில் வெப்பம் இருக்கும் வரை அது ஆடிக்கொண்டேயிருக்கும். இதனால் எழும் அதிர்வும் இசையொலியும் தொடர்ந்து கேட்கும். வரப்பு ஈயக்கட்டியுடன் தொடர்பு கொள்வதும், ஈயத்தில் விரிவு ஏற்படுவதும் ஒன்றுக்கொன்று சிறிதுபின் தங்கியிருப்பதாகக்கொண்டு இந் நிகழ்ச்சியை விளக்குகிறோம். இச் சோதனையின் வெற்றி இதில் பயன்படும் உலோகங்களின் வெப்பக் கடத்துத் திறனின் வேறுபாட்டைப் பொருத்துள்ளது என பாரடே விளக்கியுள்ளார். வெப்பமான பொருள் குளிர்ப்பொருளில் வெப்பத்தை ஏற்ற வேண்டும். வெப்பத்தை ஏற்றக் குளிர்ப்பொருள் வெப்பத்தை உடனே விரவல் செய்யக் கூடாது. ஈயத்தாலான குளிர்ந்த ராக்கரை வெப்பமான செப்புக் கட்டியில் வைத்தாலும் இந் நிகழ்ச்சி ஏற்படுவதைக் காணலாம்.

(ஆ) பாடும் சுடர் (Singing Flame)

வெப்பத்தால் காக்கப்படும் அதிர்வுகளுக்கு மற்றுமோர் உதாரணம் பாடும் சுடர். ஹக்கின்ஸ் (Huggins) என்பவர் முதன்முதலில் இம் முறையைச் செய்து காண்பித்தார். ஒரு குழாயின் வாயில் ஹைடரஜன் வாயு எரியும் சுடரொன்றை மற்றோர் அகண்ட குழாயினுள் புகுத்த இசையொலி எழுந்தது. ஹைடரஜன், காற்றில் எரியும்பொழுது உண்டாகும் நீராவி குறிப்பிட்ட கால அளவில் நெருக்கமடைவதே காற்றுத்தம்பம் அதிர்வதற்குக் காரணம். நீராவி உண்டாக்காத கார்பன் மானாக்சைடு எரியும்பொழுதும் பாடும் சுடர் எழுவதை பாரடே கண்டார். டின்டால் (Tyndall) என்பவர் சாதாரண வாயுத்தம்பம் எரியும்பொழுதும் பாடும் சுடரை உண்டுபண்ணிக் காட்டினார். சுழலும் ஆடியைப் பயன்படுத்தி, சுடர் நிலைத்திராமல் மேலும் கீழும் நகருவதை வீட்ஸ்டோன் கண்டார். சுடருக்கு அருகிலுள்ள

காற்று விட்டுவிட்டு வெப்பமடைவதே சுடர் ஒலித்தலுக்குக் காரணம் என்று ஸான்ட்ஹாஸ் எண்ணினார்; ஒரு குறிப்பிட்ட நீளமுள்ள வாயுக்குழாயும் காற்றுக்குழாயும் இணையும்பொழுதுதான் பாடும் சுடர் உண்டாகும் என்று காண்பித்தார். பாரடே, டோப்ளர், டீலரைவ் போன்றோரின் விளக்கத்தைவிட ஸான்ட்ஹாஸின் விளக்கம் ஏற்ற வகையில் உள்ளதால், அவ் விளக்கத்தைக் கவனிப்போம்:

C என்ற இடத்திலிருக்கும் சுடரினருகில் காற்று வெப்பமடைய, அதன். அடர்த்தி மாறி ஓர் இறுக்கம் (compression) சுடரைவிட்டு விலகிச் செல்கிறது. அப்பொழுது குழாயிலுள்ள காற்றில் நிலையலைகள் உண்டாகித் தனது இயற்கையின் ஒலியை எழுப்புகின்றது. C என்னும் இடத்தில் கணுவும், AB என்ற இடங்களில் எதிர்க் கணுக்களும் தோன்றுகின்றன. சுடரின் அருகில் வாயுவின் அலையும் காற்றின் அலையும் இணைகின்றன. எனவே, இசையொலி உண்டாகின்றது. பயன்படுத்தப்படும் வாயுவிற்கேற்ப, வாயுக்குழாயின் நீளமும் மாற வேண்டுமெனக்காட்டினார்; வாயுக்குழாயின் நீளம் கால் அலை நீளம், முக்கால் அலை நீளம், 5/4 பங்கு அலை நீளம் இவற்றிற்குச் சற்றுக் குறைவாயிருத்தல் நலம் எனக் காண்பித்துள்ளார்.



படம் 43

(இ) ரிஜ்கேயின் ஒலி அல்லது காஸ் ஒலி (Rijke's or Gauzetone)

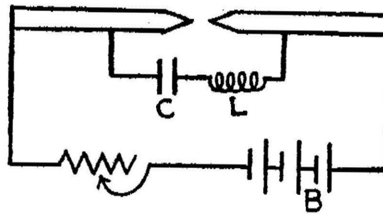
வெப்ப ஆற்றலைக்கொண்டு ஒலி எழுப்ப ரிஜ்கே என்பவர் கையாண்ட முறையைப் பார்ப்போம். செங்குத்தாக நிறுத்தப்பட்ட ஒரு காற்றுக்குழாயினுள் அதன் மையத்திற்குக்கீழ் கம்பி வலையொன்றைப் பிடிப்பாக வைத்தார்; ஜெட் சுடர் ஒன்றால் கம்பி வலையைச் செந்நிறமாகச் சூடாக்கினார். சுடரை வெளி இழுத்தவுடன் குழாயினுள் உள்ள காற்று ஒலியை எழுப்பிற்று. கம்பி வலையின் வெப்ப நிலையும், குழாயிலுள்ள காற்றின் வெப்பநிலையும் ஒன்றாகும் வரை ஒலி நீடித்திருந்தது. கம்பி வலையை மின்சாரத்தால் சூடேற்றிச் செந்நிறத்திலேயே இருக்கச் செய்தால், ஒலியும் தொடர்ந்து கேட்கும். இவ்வொலி, ஊளையிடுதலை (howling) போன்று இருக்கும். தூய்மையான பாடும் சுடரினின்று இந்த

ஒலி மாறுபட்டிருக்கும். மேல் சுரங்கள் அதிகமாயிருப்பதே இந்த ஊளையொலிக்குக் காரணம். இந் நிகழ்ச்சியை ரிஜ்கே பின் வருமாறு விளக்குகிறார் :

கம்பி வலையைச் சூடேற்றும்பொழுது அதைச் சுற்றியுள்ள குழாயின் சுவரும் சூடாகிறது. சூடாயுள்ள கம்பி வலையின் வழியே செல்லும் காற்று விரிவடைகிறது. மேலே ஏறும் பொழுது குழாயின் குளிர்ந்த சுவர்ப்பகுதியில் பட்டுக் குளிரடைந்து சுருங்குகிறது. அடுத்தடுத்து ஏற்படும் விரிவடைதலும் சுருங்குதலும் ஒலியெழுவதற்குக் காரணமாகும். கம்பி வலை எப் பொழுதும் சூடாக வைக்கப்பட்டிருந்தால் ஒலி அழியாமல் நிலைத்துக் கேட்டுக்கொண்டே இருக்கும். போஸ்ச்சா (Boscha) என்பவர் இதையே மாற்று முறையில் நிகழ்த்திக் காட்டினார். ஒரு குளிர்ந்த கம்பி வலையைக் குழாயின் மேற்பகுதியில் வைத்துக் கீழேயிருந்து சூடான காற்றை மேலே செலுத்தினார். இதிலும் ஓர் ஊளையொலி உண்டாயிற்று.

(ச) பாடும் மின்வில் (Singing Arc)

காப்பொலிக்கு மற்றுமோர் எடுத்துக்காட்டு டட்டெலின் (Duddel) பாடும் மின்வில் ஆகும். நேர் மின்னோட்டத்தால் இயங்கும் கார்பன் வில்லின் மின்வாய்களுக்கிணையாக ஒரு மின் தேக்கியையும் (C), ஒரு மின்நிலைமத்தையும் (L) இணைக்க ஓசை உண்டாயிற்று. இவ்வோசையின் அதிர்வெண் $\frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}$ ஆக இருந்தது. நேர் மின்னோட்ட வில்லின் எதிர் மின்தடை இயல்பினால் இதில் எழும் அலைவுகள் காக்கப்படுகின்றன.



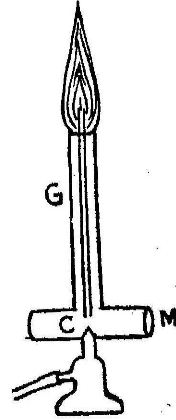
படம் 44

(உ) உணர்வுச் சுடர்களும், ஜெட்களும் (Sensitive Flames and Jets)

சில வகை விளக்கின் சுடரில் புறவொலிகள் படும்பொழுது விநோதச் செயல்களேற்படுவதை லெகான்த்தே (Leconte) என்பவர் கண்டார். இவை காப்பொலிகளல்ல. பொருத்தமான

வகையில் செய்யப்பட்ட விளக்கின் நுண்ணிய சுடர் உணர்வுச் சுடராகும். உயர்சுருதி ஒலிகள் இதன்மீது படும்பொழுது இச் சுடர் உடனே இயங்க ஆரம்பித்துவிடும். அதாவது புறவொலி பட்டவுடன் இச் சுடர் திடீரென அமுங்கும்; பலமாகக் கர்ஜிப் பதைப் போல் தோன்றும். சுடரைச் சார்ந்த வாயுத்துகள் சீரான இயக்கத்திற்குரிய விதிகளுக்குக் கட்டுப்பட்டு இயங்குகின்றது. உயர் சுருதி ஒலிகள் சுடரைத் தாக்கும்பொழுது இவ் விதிகள் மீறப்படுகின்றன. அதனால்தான் சுடர் விசித்திர முறையில் செயல்படுகிறது. இவ்வாறான நூதனச் செயலுக்கு டின்டாலின் உயிரொலிச் சுடரையும் (Tyndall's Vowel Flame), ராலேயின் ஜெட்டையும் உதாரணமாய்க் கூறலாம்.

டின்டாலின் சுடரென்பது, வாயுவில் செயல்படும் ஒரு சாதாரண விளக்கே. ஒரு வாயுப்புழை (gas blower) மூலம் சீரான அழுத்தத்துடன் இதற்கு வாயு அளிக்கப்படுகிறது. வாயுப் புழை ஒரு மோட்டாரினால் இயக்கப்படுகிறது. மோட்டாரின் வேகத்தைக் கட்டுப்படுத்தி வாயுவின் அழுத்தத்தை விருப்பத்திற் கேற்ப மாற்றிக்கொள்ளலாம். புழை வழியின் வெளிவாய் இரப் பர்க் குழாயின்மூலம் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக இரு காற்றுறிஞ்சி ஜாடிகளுடன் (Aspirator Jars) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இரண் டாவது ஜாடியிலிருந்து உணர்வுச் சுடருக்குச் செல்லும் வாயுவை ஒரு வடிமுனை (tap) கட்டுப்படுத்துகின்றது. தேவையான அழுத் தத்தில் முதல் ஜாடியின் வாயுவைச் சேக ரித்து, சீரான அழுத்தத்தில் இரண்டாவது ஜாடிக்கு அனுப்புகிறது. வடிமுனையை இயக்கி, சுடர் நுட்ப நிலையில் வைக்கப்படு கிறது. இப்பொழுது சுடர் மெலிந்து நீண் டிருக்கும். இந் நிலையில் புறவொலி சுடரில் பட்டால் அதன் உயரம் கூடும். உணர்வின் இருப்பிடம் சுடர் எரியும் துளையென்று டின்டால் விளக்கியுள்ளார்.



படம் 45

ராலேயின் ஜெட் என்பது நுரைக்கல்லால் ஆன ஓர் ஊசித் துளை விளக்காகும் (pin hole lamp). வாயு பர்னரில் இணைக்கப்பட்டுச் சிறு உருளையினுள் இவ் விளக்கு வைக்கப்பட் டுள்ளது. உருளையின் முகப்பில் மெல்லிய ஜவ்வொன்று (*M*) பொருத்தப்பட்டுள் ளது. விளக்கிருக்குமிடம் (C) ஒரு கண்ணாடிக் குழாயுடன் (*G*) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. சுடர், இக் கண்ணாடி வழியே

சென்று திறந்த வெளியில் எரிகின்றது. புறவொலிகள் முழுச் சுடரையும் பாதிக்காத வண்ணம் கண்ணுடிக்குழாய் தடுக்கின்றது. கண்ணுடிக்குழாய்க்குள் துவாரம் வரை ஓர் உலோகக் கம்பி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. வெளி ஒலி உருளையின் உள் செல்ல வேண்டுமாயின், மெல்லிழை ஜவ்வை இயக்கித்தான் செல்ல வேண்டும். இதனுல் சாதாரண சுருதியுள்ள ஒலிகள்கூடச் சுடரைப் பாதிக்க முடியும். கண்ணுடிக்குழாயின் துளையைப் பொருத்துச் சுடர் பாதிக்கப்படும் என்பதை விளக்கியுள்ளார். துளையின் அளவு சிறிது சீராகக் குறைந்துகொண்டே வந்து இறுதியில் ஒரு சிறு வட்டமான துளையில் முடிந்து விளிம்பு கூர்மையாகவும் இருந்தால், சுடர் நுண்ணுணர்வுள்ளதாயிருக்கும்.

வயலின் வில்லின் காப்பதிர்வுகள் (Action of Violin Bow)

காப்பதிர்வுகளுக்குச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டாக வயலின் வில்லின் அதிர்வுகளைக் கூறலாம். வயலின் வில்லின் கம்பி குதிரை முடியால் ஆனது. முடிகளை ஒரு மெல்லிய மரப்பிளாச்சின் இருமுனைகளிலும் இழுத்துக்கட்டி வில் செய்யப்படுகின்றது. இம் முடிகள் அடிப்பக்கம் தடித்தும், நுனிப்பக்கம் மெலிந்துமிருக்கும். வில்கம்பியின் தடிப்பு முழுவதும் சீராக இருக்க, தேவையான முடிகளை எடுத்து, பாதியை ஒரு புறமும் மீதியை எதிர்ப்புறமும் சேர்த்து வைத்துக் கட்டப்படுகின்றன. முடிகள் ரோஸனைத் தடவப்பட்டு விறைப்பாக வைக்கப்படுகின்றன.

வில்லை, வயலின் கம்பியின் குறுக்காக இழுக்கும்பொழுது இவை இரண்டுக்குமுள்ள உராய்வினுல் கம்பிகள் வில்லுடன் சேர்த்து இழுக்கப்பட்டு இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றன. ஒரு நிலையில் இழுவிசையினுல் எழும் மீள்விசை, உராய்வு விசைக்குச் சமமாகும். இப்பொழுது பெரும இடப்பெயர்ச்சி அடைந்துள்ள கம்பிகள் வில்லின் எதிர்த்திசையில் நழுவி விடுகின்றன. மறுபடியும் வில்லைப் பின்வாங்கி, கம்பிகளை முன்பக்கம் இழுக்க வேண்டும். எனவே, கம்பிகள் முன்னும் பின்னும் நகருகின்றன. அதிர்வு நுண்ணேக்கியைப் பயன்படுத்தி ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் செய்த சோதனைகளிலிருந்து கம்பியின் ஒவ்வொரு புள்ளியும் இரு திசை வேகத்தில் நகருகின்றது எனப் புலனுயிற்று. அதாவது, வயலின் கம்பி முன்பக்கம் நகரும்பொழுது வில்லுடன் வருகின்றது; பின்பக்கம் நழுவும்பொழுது பாய்ந்து செல்கின்றது. அதனுல் முன்பக்க வேகம் குறைவாயிருக்கும். ஆகையால், கம்பி முன்பக்கம் நகரும்பொழுது செயல்படும் விசை, அது பின் பக்கம் நழுவிப் பாயும்பொழுது செயல்படும் இணக்க விசையை

விடக் கூடுதலாயிருக்கும். அதனால் கம்பிக்கு அளிக்கப்படும் ஆற்றல் அதனின்று பெறப்படும் ஆற்றலைவிடக் கூடுதலாயிருக்கும். இந்த ஆற்றல் இலாபமே வயலின் அதிர்வைக் காக்கின்றது.

மின்னொலி ஆற்றல் மாற்றிகள் (Electro-acoustic Transducers)

இவை ஒலிப்பான் (Loud Speaker), மைக்ரோபோன் போன்று ஒலிப்புலத்தின் ஆற்றலை அதற்கேற்ற மின்னாற்றலாயும், மின்னாற்றலை ஒலி ஆற்றலாயும் மாற்றக்கூடிய கருவிகளாகும். சமீப காலத்தில் மின்னொலிக் கலையில் ஏற்பட்டுள்ள பெரு வளர்ச்சியினால் மின்னொலி ஆற்றல் மாற்றிகள் நிரம்ப உருவாகியுள்ளன.

வினாக்கள்

1. காப்பதிர்வுகள் என்றால் என்ன? உதாரணம் தருக.

2. உணர்வுச்சுடர்கள் என்றால் என்ன? அவற்றின் அமைப்பையும், பயன்களையும் விரிவாக எழுதுக.

3. இசைக்கவையின் அதிர்வுகளைக் காக்கும் முறையைப் படத்துடன் விளக்கி எழுதுக.

4. பின் கண்டவற்றைப்பற்றிக் குறிப்புகள் எழுதுக:
   (i) ராலே ஜெட்
   (ii) மின்னொலி ஆற்றல் மாற்றிகள்
   (iii) வயலின் வில்லின் செயல்
   (iv) பாடும் சுடர்
   (v) டிரெவெலியன் ராக்கர்

7. ஒலியலைகளின் குணங்கள்

(Properties of Sound Waves)

ஒலியின் பிரதிபலிப்பு (Reflection of Sound)

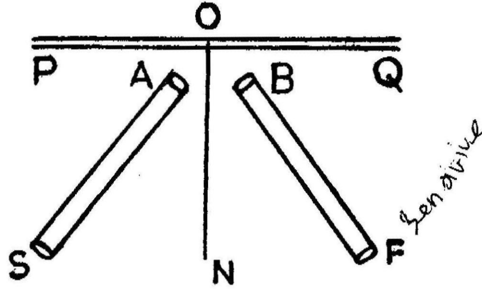
இரு வேறு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் தளத்தையோ அல்லது ஒரு தடைப்பொருளையோ ஒலியலைகள் சந்திக்கும்போது பிரதி பலிக்கப்படுகின்றன. ஒரு கட்டடமோ, ஒரு மரமோ, ஒரு குன்றின் பக்கமோ பிரதிபலிக்கத் தக்க தடைபொருளாக அமைகின்றன. ஒளியின் பிரதிபலிப்பு விதிகளே ஒலியில் பிரதிபலிப்புக்குப் பொருந்தும். அதாவது ஒலியின் படுகோணமும் மீள்கோண மும் 'சமமாக இருக்கும். படு அலைகளும் பிரதிபலிக்கப்படும் அலைகளும் ஒரே தளத்தில் அலைவுறுகின்றன. ஒளி பிரதிபலிப்புக் கும் ஒலி பிரதிபலிப்புக்கும் வெளிப்படையான ஒரே வித்தியாசம் ஒளி அலைகள் மெருகேற்றப்பட்ட ஒரு சிறு தளத்தில் பிரதி பலிக்கும். ஆனால் ஒலியலைகள் பிரதிபலிக்கப் பெரிய தளங்கள் தேவை. ஒளி, ஒலி அலை நீளங்களின் வேறுபாடே இதற்கு முக்கிய காரணம்.

ஒரு தடைப்பொருளினின்றும் ஓர் அலை பிரதிபலிக்கப்படு தற்குத் தடைப்பொருளின் நீள அளவுகள் அலை நீளத்தைவிடப் பெரியதாயிருக்க வேண்டும். ஒளி அலைகள் சிறியதாயிருப்பதால், ஒளி அலை பிரதிபலிப்பதற்குச் சிறிய தடைப்பொருளே போதும். ஒலி அலைகள் பொதுவாகப் பெரியதாயிருப்பதால், அவை பிரதி பலிக்கப்படுதற்கு ஒரு பெரிய தடைப்பொருள் தேவைப்படு கின்றது.

ஒலி பிரதிபலிப்புச் சோதனைகள்

சோதனை 1: *PQ* என்னும் ஒரு பெரிய சமதள அட்டையைச் செங்குத்தாக வைக்கவும். *SA, FB* என்னும் இரு குழாய்கள் அட்டையை நோக்கி வைக்கப்பட்டுள்ளன. அதிக அதிர் வெண்ணுடையஓர் ஒலிக்கும் பொருள் *S* என்னுமிடத்தில் வைக் கப்பட்டுள்ளது. *F* என்னுமிடத்தில் ஓர் உணர்வுச்சுடர் (Sensitive flame) வைக்கப்பட்டுள்ளது. *S* என்னுமிடத்தில் கிளம்பும் ஒலிக் கதிர்கள் *SA* என்னும் குழாய் வழியே சென்று *PQ*-யில் பிரதி

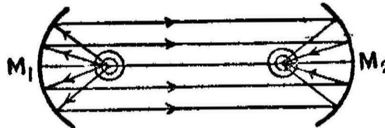
பலிக்கப்படும். *O* என்ற புள்ளியைச் சுற்றி *PQ*-யைச் சிறிது திருப்பினால், அதுஒரு குறிப்பிட்ட நிலையிலிருக்கும்பொழுது பிரதி



படம் 46

பலிக்கப்பட்ட கதிர்கள் *BF* வழியே வந்து சுடர்மேல் படச் சுடர்க்கொழுந்து துடிப்பதைக் காணலாம். *ON* என்பது *PQ*க்குச் செங்குத்துக்கோடு ஆகும். இப்பொழுது *SON*, *FON* என்னும் இரு கோணங்களும் சமமாயிருப்பதைக் காணலாம்.

சோதனை 2: M_1, M_2 என்னும் இரு பெரும் குழி ஆடிகளை ஒரே அச்சில் ஒன்றையொன்று நோக்க வைக்கவும். M_1-ன் குவியத்தில் ஒரு கைக்கெடிகாரத்தை வைக்கவும். கெடிகாரத்தின் ஒலி பிரதி பலிப்பு விதிகளுக்குக் கட்டுப்பட்டு M_1-ல் பிரதிபலிப்புற்று M_2-ல்



படம் 47

விழும்; பின் M_2-ல் பிரதிபலிப்படைந்து, அதன் முக்கிய குவியத்தில் குவியும். இந்த இடத்தில் ஓர் இதயத்துடிப்புமானியை வைத்தால், கெடிகாரத்தின் ஒலியைத் தெளிவாகக் கேட்கலாம். இச் சோதனைகளிலிருந்து ஒலி பிரதிபலிப்பு விதிகள் உண்மை யென்பதை அறியலாம்.

(அ) எதிரொலிப்பு (Echo)

கட்டடம், குன்று போன்ற தடைப்பொருள்களில் பிரதி பலிக்கப்பட்டுத் திரும்பத் திரும்பக் கேட்கும் ஒலிக்கு எதிர்

ஒலிப்பு என்று பெயர். எதிரொலிக்கப்பட்ட ஒலி கேட்டுணருமளவில் இருக்க வேண்டுமாயின், மூல ஒலி காதையடைந்த பின் 1/10 விநாடிக்குள் பிரதிபலிக்கப்பட்ட ஒலி கேட்பவர் காதை அடைய வேண்டும். இல்லையேல், மூல ஒலிக்கும் பிரதிபலித்த ஒலிக்கும் இடையே ஒரு குழப்பம் ஏற்படும். கணத்தாக்குத் தன்மையுடைய கூர்மையான ஒலி தெளிவான எதிரொலிப்பை உண்டு பண்ணுகிறது. சுருதி குறைந்த ஒலி உணரத்தக்க எதிரொலிப்பை உண்டாக்காது.

0° வெப்ப நிலையில் உலர்ந்த காற்றில் ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 330 மீட்டராகையால், 1/10 விநாடியில் ஒலி செல்லும் தொலைவு 33 மீட்டர். எனவே, ஒலி மூலத்தினருகில் நிற்பவர், மூலத்திற்கும் எதிரொலிப்பானுக்குமிடையே குறைந்தது 16·5 மீட்டர் இருந்தால், ஒரு கூர்மையான எதிரொலியைக் கேட்க முடியும். வெப்பம், ஈரப்பதன் முதலியவற்றால் ஒலி வேகம் மாறுபடும்பொழுது இந்தத் தொலைவும் வேறுபடும்.

பேச்சொலியின் எதிரொலிப்பில் மேற்குறிப்பிட்ட சிறிய தொலைவின் அளவு பேச்சில் அடங்கியுள்ள சொற்றொடர்களின் எண்ணிக்கையைப் பொருத்திருக்கும். ஒரு விநாடியில் குறைந்தது ஐந்து சொற்றொடர்களாகிலும் இருக்க வேண்டும் என்று கண்டுள்ளார்கள். ஒலி மூலத்திற்கருகில் நின்று கேட்பவர், ஒரு சொற்றொடரின் மூல ஒலி அதன் எதிரொலி இவற்றிலிருந்து குழப்பமடையாமலிருக்க, ஒலி உண்டாகியதிலிருந்து குறைந்தது 1/5 விநாடி கழிந்தே அதன் எதிரொலியைக் கேட்க வேண்டும். எனவே, 'கேட்போருக்கும் எதிரொலிப்பானுக்குமிடைப்பட்ட குறைந்த தொலைவு $\frac{1}{2} \times 1/5 \times 330 = 33$ மீட்டராக இருக்க வேண்டும். எனவே, இரண்டு, மூன்று சொற்றொடர்களடங்கிய பேச்சின் எதிரொலியைத் தெளிவாகக் கேட்பதற்கு இடைப்பட்ட குறைந்த தொலைவு 66 மீட்டர், 99 மீட்டராக இருத்தல் வேண்டும்.

எதிரொலியின் பயன்கள்

(அ) எதிரொலியின் பயன்களின் முக்கியமானதொன்று கடலின் ஆழம் காணல். மேலும் குன்றுகள், பனி மலைகள், உடைந்த கப்பல்கள் முதலியவற்றைத் தொலைவினின்றும் காண எதிரொலி முறைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பூமியின் அடியில் அமைந்துள்ள விலையுயர்ந்த கனிப்பொருள்கள், எண்ணெய் ஊற்றுகள் இவற்றின் ஆழங்களைக் காணச் சமீபகால புவியியல் ஆராய்ச்சியில் எதிரொலியைப் பயன்படுத்தி வெற்றி

கண்டுள்ளனர். இம் முறைகளைச் செவியியலரா ஒலியியல் அத்தியாயத்தில் விரிவாகக் காண்போம்.

(ஆ) மேல்சுர எதிரொலி (Harmonic Echo)

ஒலி பிரதிபலிப்பில் ஒரு முக்கிய அங்கம் எதிரொலிக்கும் பரப்பின் பரிமாணங்கள். பல ஒலிக் கலப்புள்ள ஒரு சுரம் ஓர் எதிரொலிக்கும் பரப்பின்மீது படும்போது சில ஒலியலைகளை மற்ற அலைகளைவிட எடுப்பாகப் பிரதிபலிக்கும் ஒரு தன்மை எதிரொலிப்பானுக்குண்டு. பிரதிபலிப்பானின் பரிமாணங்கள் சிறியதாகயிருந்தால், குறைந்த அதிர்வெண் உடைய அலைகளைவிட அதிகம் அதிர்வெண்ணுடைய அலைகளைச் சிறப்பாகப் பிரதிபலிக்கும். எனவே, எப்போதும் எதிரொலி மூல ஒலியின் நேர்ப் பிரதியாக இராது. பல்கூட்டு ஒலியில் மேற்சுரப் பகுதிகள் எதிரொலியில் எடுப்பாக இருப்பதை ராலே 1873-ல் கண்டார். பிரதிபலிக்கப்பட்ட ஒலியின் சுருதி கூடியிருப்பதைப்போல் தோன்றுவதால், இவை மேல்சுர எதிரொலி என அழைக்கப்படுகின்றன. நோக்குவாரிடம் திரும்பிய ஒலியின் செறிவு (i) அலை நீளத்தின் நான்மடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும், (ii) பிரதிபலிக்கும் பொருளின் பருமனின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலும் இருப்பதாக ராலே கணக்கியல் முறையில் நிரூபித்து, இந் நிகழ்ச்சியை (இம் மேல்சுர எதிரொலியை) ஒலிச் சிதறல் எனக் குறிப்பிட்டுள்ளார்.

மேல் சுரங்களடங்கிய ஒரு மூல ஒலியின் எதிரொலியில் உயர் மேல்சுரங்கள் (upper harmonics) கீழ் மேல் சுரங்களையும் (lower harmonics), மூலச்சுரத்தையும்(Fundamental)விட அதிகச் செறிவுடன். விளங்கும். எடுத்துக்காட்டாக, எண்மனின் (octave) செறிவு, மூலச் சுருதியின் செறிவைவிடப் பதினாறு மடங்கு அதிகமுள்ளதாகத் தோன்றும். மேல்சுருதிகள் மிகச் செறிவுடன் காணப்படும் இந்த எதிரொலிக்கு மேல்சுர எதிரொலி என்று பெயர். மேல்சுர எதிரொலிகள் பெரும்பாலும் இசையின் செழிப்பை வளமாக்குகின்றன. இசைக்கருவிகளைச் செய்யும் பொழுதே வேண்டிய மேல்சுரங்களை அதிகமாக வளமாக்கிக் கொள்ளும் வகையில் கருவிகளை அமைப்பது மரபு.

(இ) இசை எதிரொலி (Musical Echo)

எதிரொலிக்கும் பரப்பு ஒழுங்கான இடைவெளியில் பல தடைகள் அடங்கியதாயிருந்தால், எதிரொலியானது மூல ஒலியின் பல பிரதிகளடங்கியதாக ஒழுங்கான கால இடைவெளியில் காதை வந்தடையும். ஒவ்வொரு தடையிலும் படும் ஒலியானது அங்குப் பிரதிபலிக்கப்படுவதால், அத் தடையில் பட்டுத் திரும்பும்,

முன் தடையில் பட்ட ஒலியைவிட இன்னும் சிறிது தொலைவு சென்று சிறிது நேரம் கழித்து கேட்பவரின் காதை வந்தடையும். எனவே, ஓரிடத்தில் எழும் ஓர் ஒலித் துடிப்பானது ஒழுங்கான இடைவெளியில் காதை வந்தடைவதால், ஒரு சிறு இசை எதிரொலியாக உணரப்படுகின்றது. அதாவது, எதிரொலிகள் எல்லாம் ஒன்றாக இணையும்பொழுது இசையொலி எழும்பும்.

(ச) மெல்லொலி மாடம் (Whispering Gallery)

எதிரொலியின் மற்றொரு பயன் மெல்லொலி மாடங்களை அமைத்தல். குவிமாடங்களுடன் (dome) அமைக்கப்பட்ட கட்டடங்கள் உலகில் பல உள்ளன. குவிமாடத்தின்கீழ் அதன் அடித்தளச் சுவரை ஒட்டி இரகசியமாகப் பேசப்படும் பேச்சு எதிரேயுள்ள இடங்களில் தெளிவாகக் கேட்கும்; ஆனால், இடையேயுள்ள மற்ற இடங்களில் கேட்பதில்லை. இவ் வியத்தகு தன்மையுடைய கட்டடங்களுக்கு மெல்லொலி மாடம் என்று பெயர்.

இந் நிகழ்ச்சிக்கு முழுமையான விளக்கம் இதுவரை யாரும் கொடுக்கவில்லை. எனினும், எய்ரி என்பவரின் எளிய விளக்கப்படி மாடத்தின் ஒரு பகுதி எதிரொலிக்கும் தளமாக அமைந்து ஒலி அலைகளை இணையாகப் பரவும்படிச் செய்கின்றது. மாடத்தின் எதிர்ப்பகுதி இவ்வலைகளை வாங்கி மறுகோடியிலுள்ள ஓர் இடத்தில் குவிக்கின்றது. குவிக்கப்பட்ட இடத்தில் பேச்சு தெளிவாகக் கேட்கும்; மற்ற இடங்களில் கேட்காது. ரோமாபுரியிலுள்ள புனித ஜான் லாண்டர்ன் (St. John Lantern) மாதா கோவில், வாஷிங்டன் நகரிலுள்ள ஸ்ட்ராஸ் மன்றம் (Hall of Strauss)முதலியவற்றிற்கு இவ் விளக்கம் பொருந்தும். இலண்டன் மாநகரிலுள்ள செயின்ட் பால் மாதாகோவில் (St. Paul Cathedral) இந்தியாவில் அமைக்கப்பட்டுள்ள பல குவி மாடக்கூடங்கள் இவற்றிற்கு இவ் விளக்கம் போதாது. இவற்றில் பல இடங்களில் ஒலி கேட்கும். மேலும் இவ்விடங்கள் சமச் சீரற்று இருக்கின்றன.

ஒலி கேட்குமிடம் மாடத்தில் பேசுபவருக்கு எதிர்முனையில் இருக்க வேண்டியதில்லையென்றும், கட்டடத்தின் சமச்சீரமைப்புக்கும் ஒலி கேட்கப்படுவதற்கும் தொடர்பில்லையென்றும் ராலே கூறியுள்ளார். ஒலியின் குரல் உயர உயர அதன் வேகமும் அதிகரிக்க வேண்டும் என்பது மற்றுமோர் இரகசியம். திண் சுவரில் (rigid boundary) ஏற்படும் எதிரொலியாலும், குவியற்செயலாலும் சுவரின் அருகே குரல் உயர்ந்து ஒலிக்கின்றது. எனவே,

சுவரருகே உள்ள அலைகள் சுவரின் வளைவுடன் நகர்ந்து வேகமாகச் செல்லுகின்றன. சர். சி.வி. ராமனும், சதர்லண்டும் 1921-ல் சுருதி கூடிய ஒலி, நுட்பச்சுடர் இவற்றை வைத்து ஆராய்ச்சி செய்து ராலேயின் முடிவுகளை உறுதிப்படுத்தினர்.

ஒலி விலகல் (Refraction of Sound)

ஒலி அலைகள் ஓர் ஊடகத்தினின்று மற்றோர் ஊடகத்திற்குள் புகும்பொழுது அவற்றின் வேகம் மாறுபடுகின்றது. ஒளியில் ஏற்படுவதைப் போல் அவ்வொலி அலைகளும் தங்கள் பாதையினின்று விலகிச் செல்கின்றன. இரண்டாவது ஊடகத்தைவிட முதல் ஊடகத்தில் ஒலி பரவும் வேகம் அதிகமாகயிருந்தால், ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் தளத்திற்கு வரையப்பட்ட செங்குத்துக் கோட்டை நோக்கி இரண்டாவது ஊடகத்தில் இவ்வொலி அலை வளைந்து செல்லும். இந் நிகழ்ச்சிக்கு ஒலி விலகல் என்று பெயர். வாயு மண்டலத்தில் வெப்பநிலை வாட்டங்கள் ஏற்பட்டு ஒலி விலகலுண்டாகும். காற்று மண்டலங்களில் உயரத்திற்கேற்ப அடர்த்தி மாறுபடுவதாலும், காற்று வீசும் போது காற்றின் வேகம் அடிமண்டலங்களில் குறைவாகவும், மேல் மண்டலங்களில் அதிகமாகவும் இருப்பதாலும் காற்றின் திசையில் செல்லும் ஒலி அலைகள் தரைப்பக்கம் விலகியும், எதிராகச் செல்லும் ஒலி அலைகள் மேல் பக்கம் விலகியும் செல்லும்.

ஒலி விலகல் சோதனைகள்

குவி வில்லை உருவத்தில் உள்ளீடற்ற ஒரு பாத்திரத்தை எடுத்து (இரப்பர் பலூன்), காற்றைவிட அடர்த்தியான கார்பன்டை-ஆக்ஸைடு போன்ற வாயுவை அதில் அடைக்கவும். இதன் முன் சிறிது தூரத்தில் ஒரு கைக்கெடிகாரத்தை வைக்கவும். மறுபுறத்தில் அதே தூரத்தில் காதை வைத்துக் கேட்டால், கெடிகாரத்தின் ஒலி தெளிவாய்க் கேட்கும். கெடிகாரம் உள்ள இடமும், விலகிய ஒலி கேட்கும் இடமும் ஒலி பரிமாற்றுக் குவியங்கள் ஆகும்.

காற்றைவிட இலேசான வாயுவை பலூனில் எடுத்துக் கொண்டால், அதன் வழியே சென்ற ஒலி அலை வெளிநோக்கி விலகிச் செல்வதைக் காணலாம்.

ஸான்ட்ஹாஸ் என்பவர் பல வாயுக்கள் கொண்ட முப்பட்டைக் கண்ணாடிகளைக் கொண்டு ஒலி விலகல் சோதனையைச்

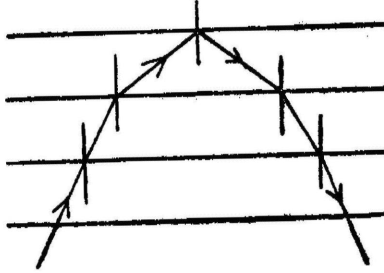
செய்து, ஒலி விலகல் எண்ணைக் கண்டுள்ளார். ஒரு வாயுவின் ஒலி விலகலெண் μ ஆனால், ஒளியிலுள்ளதைப் போலவே

$$\mu = \frac{\text{காற்றில் ஒலி வேகம்}}{\text{வாயுவில் ஒலி வேகம்}}$$ எனக் கொள்ளலாம்.

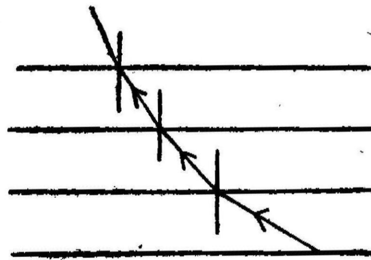
வெப்பநிலை வட்டங்களும் ஒலி விலகலும் அல்லது முழு ஒலி எதிரொலிப்பு

பூமி மட்டத்திலிருந்து மேலே போகப் போக வெப்பநிலை அதிகரித்தால், ஒலியின் வேகமும் அதிகரிக்கும். செங்குத்தாக மேலே செல்லும் ஓர் ஒலிக்கதிர் அடர்மிகு மண்டலத்திலிருந்து அடர்குறை மண்டலத்திற்குச் செல்கிறது. எனவே, நேர்க் குத்துத்திசையிலிருந்து ஒலி விலகலடைந்து, வளைந்து சென்று, ஒரு கட்டத்தில் முழு எதிரொலிப்பு (Total Reflection) அடைகிறது. அப்போது வெகு தூரத்தில் உள்ளவர்களுக்கும் ஒலி கேட்கும்.

மேலே செல்லச் செல்ல வெப்பநிலை குறைந்தால், ஒலிக் கதிரின் வேகமும் குறைந்துகொண்டே போகும். ஆகையால், அது நேர்க்குத்துத் திசையை நோக்கி விலகலடைந்து உட்புறமே வளைந்து மேலே சென்று விடுகிறது. ஆகவே, அருகிலுள்ளவர்களுக்கும் ஒலி கேட்பதில்லை. எனவேதான் பகலைவிட இரவு நேரங்களில் ஒலி வெகு தூரம் வரை கேட்கிறது. இரவில் அமைதி நிலவுவதோடுகூட, மேல் மண்டலங்களில் வெப்ப நிலை அதிகமாயிருந்தால் ஒலிக் கதிர்கள் வளைந்து வந்து வெகு தூரம் கேட்கின்றன. காற்று எளிதில் வெப்பக் கடத்தியாகையால், நிலமும் அதைச் சார்ந்த இடங்களும் பகலில் சீக்கிரம் வெப்பமடைந்து விடுகின்றன. காற்றடுக்குகள் அவ்வாறு வெப்பமடைவதில்லை. ஒலிவேகம் தரை மட்டத்தில் அதிகமாயும், மேலே போகப் போகக் குறைவாயுமிருக்கின்றது. எனவே, ஒலி



படம் 48



படம் 49

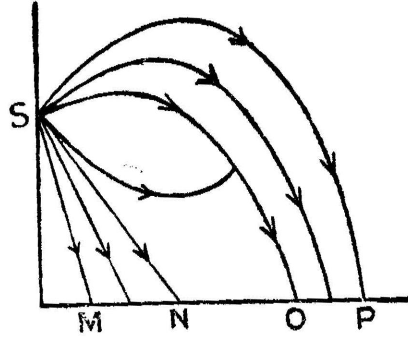
விலகலால் ஒலிக்கதிர்கள் மேல் நோக்கிச் சென்று விடுகின்றன. பகல்நேரங்களில் இரைச்சலும் அதிகமாயுள்ளது. அருகிலுள்ளவர்கள்கூடக் கேட்பது எளிதன்று. ஆனால், இரவில் பூமி சீக்கிரம் குளிர்ந்து விடுவதால், ஒலி மேலே செல்லச் செல்ல அடர் குறை மண்டலங்களில் நுழைந்து விலகலடைந்து வளைந்து வெகு தூரம் சென்று பூமியை அடைகின்றது. தரையில் உருண்டு உராய்தலால் செறிவு குறைந்து வலிவிழந்து வெகு தூரத்திற்கப்பால் கேட்கின்றது.

அமைதி மண்டலங்கள் (Zones of Silence)

வானத்தில் ஓர் இடத்தில் வெடி ஒலி ஏற்பட்டால், அவ்விடத்திலிருந்து வெகு தூரத்திற்கு அந்த வெடி ஒலி கேட்கும். பிறகு பல மைல் தூரங்களுக்கு ஒன்றும் கேட்காது. மீண்டும் இரண்டாம் முறையாக வெகு தூரத்திற்கு அவ்வெடி ஒலி கேட்கும். இப்படி ஒலியே கேட்காத தூரத்திற்கு அமைதி மண்டலம் என்று பெயர். இந்த அமைதி மண்டலம் சுமார் 80 கி. மீட்டரிலிருந்து 150 கிலோ மீட்டர் வரை பரவி நிற்கும். ஒலி கேட்கும் முதல் மண்டலத்தில் ஒலி பரவும் நேரம் ஒலியின் வேகத்தைப் பொருத்துள்ளது. ஆனால் இரண்டாவது மண்டலத்திலோ, நாம் கணக்கிடும் நேரத்தைவிட வெகு நேரம் கழித்து ஒலி வந்து சேருகிறது. இதனின்று இரண்டாவது மண்டலத்தில் ஒலியின் வேகம் குறைந்திருப்பதாகவும் அல்லது ஒலி சுற்றுப் பாதையில் செல்வதாயும் தோன்றும். இந் நிகழ்ச்சியைப் பின் வருமாறு விளக்கலாம் :

உள் மண்டலத்தில் மிகுந்த வேகத்தில் பரவ ஆரம்பிக்கும் ஒலி பிறகு சரியான வேகத்தில் செல்லத் தொடங்கும். தரையை ஒட்டி நேராகச் செல்லும் ஒலி அலைகள் கொஞ்சங்கொஞ்சமாய்ச் செறிவிழந்து சுமார் 80 கி. மீ. தூரத்தில் முழுதும் அழிந்து விடுகின்றன. உதாரணமாக, *S* என்ற இடத்தில் வெடிப்பு ஒலி உண்டாவதாகக் கொள்வோம். இங்கிருந்து புறப்படும் ஒலி அலைகள் *MN* என்னும் பகுதியில் கேட்கும். இப் பகுதியே முதல் கேட்கும் மண்டலம் ஆகும். இதையடுத்து அலைகள் அழிந்து விடுவதால், '*N*'-லிருந்து '*O*' வரை உள்ள பகுதியில் ஒலி கேட்காது. இப் பகுதியே அமைதி மண்டலம் எனப்படும். இந்த அமைதி மண்டலம் சுமார் 150 கி. மீ. வரை வியாபித்திருக்கும். அதன் பின் மீண்டும் ஒலி கேட்கும். இப் பகுதி இரண்டாம் கேட்கும் மண்டலம் எனப்படும். இதற்குக் காரணம் *S*-ல் புறப்பட்ட ஒலி அலைகள் மேலே வெகு உயரம் சென்று ஒலி விலகலடைந்து வளைந்து 150 மீட்டருக்கப்பால் பூமியை

வந்தடைவதே. மேலே செல்லச் செல்ல வெப்பநிலை குறைந்து சுமார் 30 கி.மீ.லிருந்து 50 கி.மீ. உயரம் வரை சுமார் 55° செ.



படம் 50

வெப்பத்தில் நிலையாக இருப்பதாகச் சோதனைகள்மூலம் கண்டு உள்ளனர். இந்தப் பகுதியில் நுழையும் ஒலி அலைகள் குறையும் வெப்பநிலை வாட்டத்தால் நேரே வெட்ட வெளிப் பிரதேசத்தில் சென்று மறைந்து விடுகின்றன. ஆனால் 50 கி.மீ. உயரத்தி லிருந்து 65 கி. மீ. உயரம் வரை வெப்பநிலை மறுபடியும் உயர்ந்து விடுகிறது. இப் பகுதியில் நுழையும் ஒலியலைகள் கீழே வளைந்து ஒரு கட்டத்தில் முழு பிரதிபலிப்படைந்து வெகு தொலைவுக் கப்பால் பூமியை அடைகின்றன. எனவே, இரண்டாம் கேட்கும் மண்டலம் அமைகின்றது. இது போன்று மேல் மட்டத்தில் நிலவும் வெப்பநிலை மண்டலங்களுக்கேற்ப, பல அமைதி மண்ட லங்களும் ஒலி கேட்கும் மண்டலங்களும் மாறி மாறி ஏற்படு கின்றன. ஆனால் ஒலிச்செறிவு குறைந்துவிடுவதால், அங்கெல் லாம் ஒலி கேட்பது அரிதாகி விடுகின்றது.

ஒலி குறுக்கீட்டு விளைவு (Interference of Sound)

ஒரே அலை நீளமும் ஒரே வீச்சும் கொண்ட இரு ஒலியலைகள் இரு மூலங்களினின்று x_1, x_2 தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியை அடைவதாகக் கொள்வோம். இவ்விரண்டு அலைகளினால் அப் புள்ளியில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி ஒவ்வோர் அலையினாலும் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமம். அதாவது,

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) + \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right)$$

$$= 2a \cos \pi \left(\frac{x_1 - x_2}{\lambda}\right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1 + x_2}{\lambda}\right)$$

எனவே, அப் புள்ளியில் கூட்டு அலையின் வீச்சு

$$= 2a \cos \pi \left(\frac{x_1 - x_2}{\lambda}\right)$$

$$\pi \left(\frac{x_1 - x_2}{\lambda}\right) = \frac{1}{2}(2n + 1)\pi \text{ அல்லது } x_1 - x_2 = \frac{1}{2}(2n + 1)\lambda$$

(M என்பது முழு எண்) ஆக இருக்கும்பொழுது, எல்லாச் சமயங்களிலும் அப் புள்ளியில் இடப்பெயர்ச்சி சுழி ஆகும். அதாவது, அப் புள்ளி சுழி வீச்சில் அதிரும்.

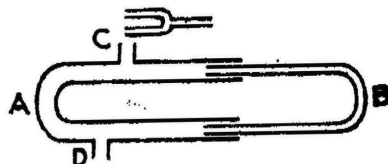
$$\pi \left(\frac{x_1 - x_2}{\lambda}\right) = n\pi \text{ அல்லது } x_1 - x_2 = n\lambda \text{ ஆக இருக்கும்போது}$$

அப் புள்ளியில் இடப்பெயர்ச்சி $2a$-யிலிருந்து $-2a$-க்கு மாறுபடும். அல்லது அப் புள்ளியில் அதிர்வு வீச்சு $2a$ ஆகும். இவ்வாறாக $x_1 - x_2 = (2n+1)\lambda/2$ ஆக இருக்கும்பொழுது ஒலியின் செறிவு சுழியாகவும், $x_1 - x_2 = n\lambda$ ஆக இருக்கும்பொழுது ஒலியின் செறிவு பெரும நிலையையும் அடையும். எனவே, ஒரே அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியை வெளியிடும் இரு மூலங்களினின்று கிளம்பும் ஒலி அலைகள் ஒன்றின்மேல் ஒன்று பொருந்தும்போது அவ்விரு அலைகளுக்குமிடையேயுள்ள பாதை வேறுபாடு அலை நீளத்தின் முழு எண் மடங்கில் இருந்தால், ஒலிச்செறிவு மிகுந்திருக்கும். ஆனால் பாதை வேறுபாடு அரை அலை நீளத்தின் ஒற்றைப்படை எண் மடங்கில் இருந்தால், செறிவு சுழியாகும். இந் நிகழ்ச்சி ஒலி குறுக்கீட்டு விளைவு எனப்படும். இந்த ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவைக் கீழ்க்காணும் முறைகளில் எளிதில் விளக்கலாம் :

(அ) குவிங்கேயின் ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவுக் குழாய்

குவிங்கேயின் அமைப்பைக் கொண்டு ஒலி குறுக்கீட்டு விளைவை எளிதில் விளக்கலாம். A,B என்பன ஒன்றினுள் ஒன்று நுழையக்கூடிய U வடிவிலுள்ள இரு குழாய்கள். A என்னும் குழாயில் C,D என்னும் இருபக்கக் குழாய்கள் உள்ளன. ஓர் இசைக்கவையை இயக்கி C-யின் அருகில் வைக்கவும். D-யில் ஒரு காதொலியம் (Ear Phone) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. CAD வழியேயும், CBD வழியேயும் வரும் ஒலி அலைகள் D-யில் சந்திக்கின்றன. இவ்விரு வழிகளில் வந்து சேரும் ஒலி அலைகளின் பாதை வேறுபாடு, அலை நீளத்தின் முழு எண் மடங்கி

விருந்தால் வலியூட்டம் பெற்று ஒலி நன்ருகக் கேட்கும். ஆனால், பாதை வேறுபாடு அரை அலை நீளத்தின் ஒற்றைப்படை எண் மடங்கிலிருந்தால் ஒலி அழிவுறும். எனவே, ஒலியே கேட்காது.



படம் 51

குழாய்களை ஒன்றினுள் ஒன்றைத் தள்ளியோ வெளியே இழுத்தோ பாதை வேறுபாடுகளை மாற்றி, ஒலிச்செறிவின் பெருமத்தையும், சிறுமத்தையும் மாறிமாறி காதொலியத்தில் கேட்கலாம். இரண்டு சிறும ஒலிச் செறிவினிடையே ஒரு குழாயை மற்றொன்றிலிருந்து l தொலைவு இருந்தால், ஒலி அலையின் நீளம் $2l$ ஆகும். காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைத் தெரிந்து, அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம். இம் முறை அதிகச் சுருதியுள்ள ஒலியின் அதிர்வெண்ணைக் காணப் பயன்படும்.

(ஆ) ஸீபெக் ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவுக் குழாய்

காற்றுத்தம்பம், குண்ட்ஸ் குழாய் இவற்றில் நிலையலைகள் தோன்றுவதையும் ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவிற்கு ஏற்ற உதாரணமாகக் கொள்ளலாம். ஸீபெக் (Seebech) என்பவர் குண்ட்ஸ் குழாயை ஒத்த அமைப்பைப் பயன்படுத்தி இதை விளக்கிக்

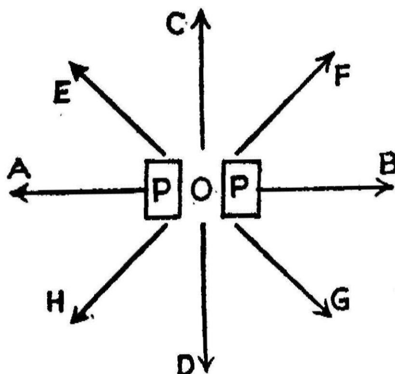


படம் 52

காட்டினர். இசைக்கவையில் உண்டான ஒலி அலைகள் நேராகவும், உந்து தண்டு *B*-யில் பிரதிபலித்தும் *C*-ஐ அடையும். உந்து தண்டை முன் பின் இழுத்துப் பாதை வேறுபாடு *AB*-ஐ அலை நீளத்தின் முழு எண் மடங்கிலும், அரை அலை நீளத்தின் ஒற்றைப்படை எண் மடங்கிலும் இருக்குமாறு செய்து, *C*-யில் இணைத்துள்ள காதொலியத்தில் பெரும சிறும ஒலி கேட்கச் செய்யலாம்.

(இ) இசைக்கவையும் ஒலிக் குறுக்கீடும்:

ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவை ஓர் இசைக்கவையைக் கொண்டு தெளிவாய்ச் செய்து காட்டலாம். ஓர் இசைக்கவையைத் தட்டிக் காதினருகில் செங்குத்தாகப் பிடித்துச் சுழற்றினால், ஒரு சுழற்சியில் நான்கு முறை பெரும சிறும ஒலி கேட்கும். இதே போன்ற பெரும சிறும ஒலிச்செறிவு வேறுபாடு ஏற்படுவதை அதிரும் இசைக்கவையைச் சுற்றி நாம் செல்லும்போது உணரலாம். இதைப் பின்வரும் முறையில் விளக்கலாம்: இசைக்கவையைத் தட்டி வைத்தால் அதன் இரு முள் முனைகளும் (P_1P) மாறி மாறி நெருங்கியும் விலகியும் துடிக்கும். இரு முள்களும் வெளிநோக்கி நகரும்போது, *AB* திசையில் காற்று இறுக்கமும், முள்கள் உள்நோக்கி நகரும்போது, *AB* திசையில் தளர்த்தியும்,



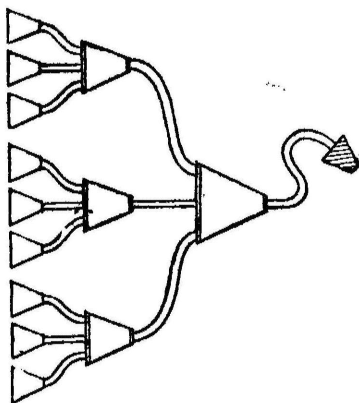
படம் 53

CD திசையில் இறுக்கமும் ஏற்படும். இத் திசைகளில் பெரும ஒலி கேட்கும். *AB* திசையில் செல்லும் அலைகளுக்கும் *CD* திசையில் செல்லும் அலைகளுக்கும் இடையே எப்போதும் உள்ள அதிர்வு நிலை வேறுபாடு π ஆகும். *E*,*F*,*G*,*H* திசைகளில் இந்த அலைகள் ஒன்றின்மேல் ஒன்று பொருந்தி, ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொள்ளும். எனவே, இத் திசைகளில் ஒலிச்செறிவு குறைந்து சிறும நிலையையடையும்.

லாயிட்ஸின் ஒற்றை ஆடியில் கிடைக்கும் ஒளிக் குறுக்கீட்டு விளைவின் பட்டைகளைப் போன்ற ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவின் பட்டைகளை ஹம்பி என்பவர் அமைத்துக் காண்பித்துள்ளார்.

மிரியாபோன் (Myriaphone)

ஆகாய விமானம், நீர்மூழ்கிக் கப்பல் போன்றவற்றின் இருப்பிடத்தைக் காணப் பயன்படும் மிரியாபோன் என்னும் கருவி ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவின் கொள்கையில் அமைக்கப்பட்டதே.



படம் 54

இதில் ஓரே நீளமுள்ள குழாய்களுடன் இணைக்கப் பெற்றபல கொம்புகள் உள்ளன. இவற்றில் சேரும் ஒலி மற்றொரு தனி கொம்பிற்குக் கொடுக்கப்படுகின்றது. இக் கொம்பு காதொலிப்பானுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. வெகு தொலைவிலுள்ள மூலப்பொருளினின்றும் வரும் ஒலிகள் கொம்பின் வாய்க்கு நேர்க்குத்தாய் விழும் போது கொம்புகளினால் ஒலி ஓரே கட்டத்தில் சேகரிக்கப்படுவதால், ஒலிச்செறிவு அதிகமாக இருக்கும். இக் கருவியைச் சிறிது சாய்த்தாலும் ஒலிச்செறிவு குறைந்து விடும். எனவே, திசையைக் காணுதலில் இக் கருவி மிகுந்த உணர்வு நுட்பமுடையது.

ஒலியின் விளிம்பு விலகல் (Diffraction of Sound)

ஒலியின் அலை நீளத்திற்குச் சமமான பரிமாணமுடைய ஒரு தடைப்பொருளின் முன் ஓர் ஒலி மூலத்தை வைத்தால், ஒலி தடைப்பொருளின் விளிம்பைச் சுற்றி வளைந்து சென்று அப்பால் கேட்கும். ஆனால், அதே பொருளின் முன் ஓர் ஒளி மூலத்தை வைத்தால், பொருளின் வடிவியல் நிழல் உண்டாகும். ஒளியானது பொருளின் மூலைகளில் வளைந்து செல்வதைக் காட்ட நுண்ணிய அமைப்புகள் தேவை. வடிவியல் நிழலினுள் ஒலி ஊடுருவலை ஒலியின் விளிம்பு விலகல் என்கிறோம். ஒலி அலைகளின் நீளம் மிகப் பெரியதாயிருப்பதால், இவ் விளைவை எளிதில் உணர முடிகின்றது. ஆனால், செவியுணரா ஒலியைப் போல் (Ultrasonic) அதிக அதிர்வெண்ணும், குறைந்த அலை நீளமுள்ள ஒலியைக் கொண்டு ஒலி விளிம்பு விலகலைக் காண்பதரிது. இருந்த போதிலும், ஒளியியலைப் போலவே, ஒலியியலிலும் விளிம்பு விலகலையும் அதன் விளைவுகளையும் அதிக அதிர்வெண்ணுடைய ஒலி

யைக் கொண்டு அறிய முடியும். ஹைஜின்ஸ் கொள்கை முறையில் இவற்றை விளக்கலாம்.

உதாரணமாக, ராலேயின் வட்டத் தட்டின் ஒலி விளிம்பு விலகல் முறையில் இந் நிகழ்ச்சிக்குத் தெளிந்த விளக்கத்தைப் பெறலாம். ஒரு வட்டத் தகட்டைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி, அதன் அச்சின் ஒரு பக்கம் ஒரு குருவிக்குரலையும், மறு பக்கத்தில் ஓர் உணர்வுச் சுடரையும் வைத்தார்; குருவிக்குரல் என்பது அதிக அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியைக் கிளப்பவல்ல ஏற்பாடு. அது சுமார் 1 செ. மீ. அலை நீளமுள்ள ஒலியை எழுப்பும். குருவிக் குரல் ஒலிக்க நுட்பச் சுடர் கிளர்ந்தெழுந்தது. இதனின்று ஒரு பக்கம் எழுந்த குரலொலி தட்டின் விளிம்புகளைத் தாண்டிச் சென்று மறு பக்கத்திலுள்ள சுடரைத் தூண்டிற்று என்பதை அறியலாம்.

டக்கர், பாரீஸ் என்பவர்கள் தட்டின் மறு பக்கத்தில் ஒலி எவ்வாறு பரவுகிறது என்பதைக் கண்டறிந்தார்கள். 10 அடி விட்டமுள்ள ஒரு மரத்தட்டையும், ஒலியெழுப்ப ஒரு மின்னிசைக் கவையையும், விளிம்பு விலகலடைந்த ஒலியை ஆராய ஒரு வெப்பக் கம்பி மைக்ரோபோனையும் (Hot Wire Microphone) எடுத்துக்கொண்டனர்; ஒளி விளிம்பு விலகலைப் போலவே, ஒலி விளிம்பு விலகலும் ஏற்படுகிறதென்பதை விளக்கிக் காட்டினார்; ஒலி விளிம்பு விலகல் பாங்கத்தில் ஒரு மத்திய பெருமமும் (Central Maximum), அதைச் சுற்றி அமைதி நிலவும் வட்டப் பகுதியும், அதைச் சுற்றி வட்டமாக இரண்டாவது பெருமமும் இருப்பதைக் காண்பித்தனர்.

நேர் விளிம்பிலும் (Straight Edge), செவ்வகத் துவாரத்திலும் (Rectangular Aperture) ஒலி விளிம்பு விலகல் விளைவை ஹம்பி என்பவர் சோதனைமூலம் காண்பித்தார். இவர் ஒரு பெரிய மரப்பலகையை நேர் விளிம்பாகவும், 20 செ. மீ. $\times$ 43 செ. மீ. அளவுள்ள பிளப்பைச் செவ்வகத் துவாரமாகவும், 4·4 செ. மீ. அலை நீளம் கொண்ட ஒலியையும் பயன்படுத்தினர்.

பொது மையம் கொண்ட (concentric) அட்டையாலான வளை வடிவ மண்டலங்களை (Annular Zones) வைத்து மண்டலத் தட்டைச் (Zone Plate) செய்து, அது எவ்வாறு ஒலியைக் குவிக்கிறதென்பதையும் காண்பித்துள்ளார்.

ஒரு மில்லி மீட்டர் முதல் 6 மில்லி மீட்டர் வரை விட்டமுள்ள கண்ணாடித் தண்டுகளை ஒரு செ.மீ. இடைவெளியில் இணையாக

வைத்து ஒரு கீற்றணியை (Diffraction Grating) ஆல்பர்ட் என்பவர் செய்தார்; அதைக் கொண்டு மின்பொறி ஒலி (Sound of an Electric Spark) போன்ற கூட்டொலிகளின் ஒலி மாலையைப் (Sound Spectrum) பகுப்பாய்வு செய்தார்.

ஒலி விளிம்பு விலகல் விளைவால் உருவாகும் ஒலி பெருமத்தைக் கொண்டு, ஒலி வரும் திசையையும், எழும் இடத்தையும் தெளிவாகக் காண முடியும். ஒலி ஆராயும் கருவியை ஒரு வட்டத்தட்டின் ஒரு பக்கத்தில் அதன் அச்சில் வைத்து, வட்டத்தட்டைப் பல திசைகளிலும் திருப்பி, எந்தத் திசையிலிருக்கும்பொழுது பெரும ஒலி ஏற்படுகிறதோ அத் திசையிலிருந்துதான் ஒலி வருகிறதென்பதைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். யுத்த காலங்களில் எதிரியின் பீரங்கி எத் திசையிலிருக்கின்றதென்பதையும், விமானங்கள் எத் திசையிலிருந்து வருகின்றனவென்பதையும் இம் முறையில் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

ஒலிச் சிதறல் (Scattering of Sound)

ஒரு தடையில் பட்ட ஒலி பல திசைகளிலும் பரவுதலுக்கு ஒலிச் சிதறல் என்று பெயர். ஒலி அலைகளின் பாதையிலுள்ள தடைகளின் பரிமாணம் ஒலி அலையின் நீளத்தைவிடச் சிறியதாயிருந்தால், விளிம்பு விலகல் ஏற்பட்டுத் தடைக்குப் பின்னால் ஒன்றுகூடிச் செல்கின்றனவென்பதைக் கண்டோம். உண்மையில், ஒலி ஆற்றலின் ஒரு பகுதி திசை மாறிச் சென்று விடுகின்றது. தடையிலிருந்து எல்லாத் திசைகளிலும் ஆற்றல் பரவுகின்றது. தடையின் பரிமாணம் பெரியதாகயிருந்தால், ஆற்றலின் பெரும் பகுதி சிதறிவிடுகின்றது. ராலே இந் நிகழ்ச்சியை ஆராய்ந்து சில உண்மைகளைக் கண்டார்; சிதறிய அலைகளின் வீச்சு தடையின் பருமனையும், மூல ஒலியின் அலை நீளத்தையும் பொருத்திருக்கிறதென்றார். a, v, λ இவை மூன்றையும் முறையே அலையின் வீச்சு, தடையின் பருமன், மூல ஒலியின் அலை நீளம் என்று கொள்வோமானால், $a \propto \frac{V}{\lambda^2}$ என்றும், ஒலியின் செறிவு (I) வீச்சின் இரு மடிப்பான் (a^2) நேர் விகிதத்திலிருப்பதால் $I \propto \frac{V^2}{\lambda^4}$ என்றும் காட்டியுள்ளார்.

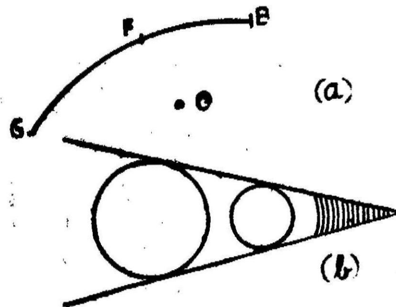
டிண்டால் (Tyndall) என்பவர் ஒலிச்சிதறலைச் சோதனைகள் மூலம் விளக்கியுள்ளார்; ஒரு மணிக்கும் (Bell) ஒரு நுட்பச் சுடருக்கும் இடையே பல குழாய்களில் மாறி மாறி, கார்பன்-டை-ஆக்சைடு வாயுக்களை நிரப்பி, மணியை ஒலித்தார். குழாய்

களில் வாயு இருக்கும்போது நுட்பச்சுடரில் மாற்றம் ஏதும் ஏற்படவில்லை. ஆனால், குழாய்களை எடுத்தவுடன் மணியொலியால் தூண்டப்பட்டுச் சுடர் தெளிவுற்றது புலனாயிற்று. இதனின்று வாயுக்கள் ஒலியின் பெரும்பகுதியைச் சிதறடித்துவிட்டன என்பது விளங்கும்.

பெருவேக வீச்சுப் பொருளினின்று எழும் ஒலி (Sound from High Speed Projectiles)

சக்தி வாய்ந்த ஒரு துப்பாக்கியினின்று ஒரு குண்டு சுடப்படும்போது மூன்று ஒலிகள் எழுகின்றன. அவை (அ) சுடுதலின் அறிவிப்பு, (ஆ) குண்டு ஓடுதலினால் ஏற்படும் ஊதல் ஒலி, (இ) குண்டு வெடிப்பு. இவற்றை ஆராய்வோம்;

துப்பாக்கி *G* என்ற இடத்திலிருப்பதாயும், *GFB* குண்டு செல்லும் பாதையாகவும், குண்டு வெடிக்கும் இடம் *B* என்றும் கொள்வோம். சுடப்பட்ட குண்டு காற்றைக் கிழித்துக் கொண்டு விரைந்து செல்லும்போது அதன் மூக்குப் பகுதியில் காற்றழுத்தம் ஏற்பட்டுக் கோள அலைகள் உண்டாகின்றன. குண்டின் திசைவேகம், ஒலியின் திசைவேகத்தைவிடக் குறைவாயிருப்பதாகக் கொள்வோம். '*O*' என்ற இடத்திலுள்ள பார்வையாளர், சுடுதலின் அறிவிப்பை முதலிலும், குண்டு ஓடுதலினால் எழும் ஒலி அலைகளின் சுருள் ஒலியைப் பிறகும், கடைசியில் குண்டு வெடித்தலின் ஒலியையும் கேட்பார். ஆனால், தற்காலத் துப்பாக்கியிலுள்ளதைப்போல் குண்டின் வேகம் ஒலி



படம் 55

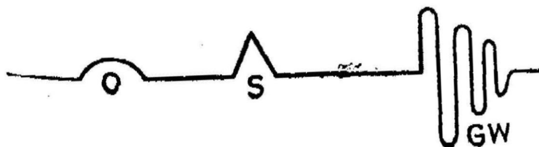
யின் வேகத்தைவிடக் கூடுதலாயிருக்குமானால், இந் நிகழ்ச்சி கவனத்தை ஈர்ப்பதாகும். குண்டின் மூக்குப் பகுதியிலுண்டாகும் நெருக்கம் முன்புறம் நகராமல், பக்கவாட்டில் நகரும். ஒலியின்

வேகத்தைக்காட்டிலும் கூடுதலான வேகத்தில் செல்லும் குண்டுகள் எழுப்பும் ஒலி அலைகளைப் பாய்ஸ், கிரான்ஸ் இருவரும் மின்பொறி முறையில் ஒளிப்படம் எடுத்துள்ளனர். இப் படங்களில் கூம்பான உருவம் கொண்ட இரு அலைமுகங்கள் இருப்பது விளங்கும். இவை குண்டின் மூக்குப்புறமிருந்து ஒன்றும், அடித்தளத்தினின்று ஒன்றும் உருவானவை. குண்டு ஓடும்போது அதன் மூக்கு, அடித்தளத்தினின்று உருவாகும் கோள அலைகளின் உறைகளே இக் கூம்பு அலைமுகங்களாகும். ஹைஜின்ஸ் கொள்கையில் இவற்றின் அமைப்பை விளக்கலாம். ஒலியின் வேகம் C ஆகவும், குண்டின் வேகம் v ஆகவும் கொண்டால், கூம்பின் அரை கோணத்தை (θ) கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டினின்று பெறலாம்:

$\sin\theta = c/v$ கோணத்தை (θ) அளந்து, குண்டின் வேகத்தைக் (v) கணக்கிடலாம். மேல் குறிப்பிட்ட விளக்கத்தில் O-வி லுள்ள பார்வையாளர் அடுத்தடுத்த இடங்களைத் தாண்டிக் குண்டு செல்லும்போது உண்டாகும் அலைகளை ஏற்கிறார்; அதே சமயத்தில் வெடித்தலின் தெறிப்பொலியைப் போன்ற செறிவு நிறைந்த கூர்மையான ஒலியையும் கேட்பார்.

இதற்கு ஆன் டி சோக் (On de Choc) என்று பெயர். இதைத் தொடர்ந்து குண்டிற்குப் பின்னால் உண்டாகும் கொந்தளிப்பினால் எழும் ஊதலொலியையும் கேட்கலாம். ஒலியினால் தூரம் காணலில், துப்பாக்கி அலைகளை முதலில் காண வேண்டும். ஒரு பார்வையிடம் தூரத்திலிருப்பதாகக் கொண்டால் அவ்விடமுள்ள பகுப்பான் ஆன் டி சோக்கை முதலிலும், குண்டுவெடி ஒலியைப் பிறகும், துப்பாக்கி அலையைக் கடைசியிலும் பெறும். இந்த அலைகளினால் ஏற்படும் அழுத்த மாறுபாடுகள், பெரிய காற்றுத் தேக்கி அழுத்தமானிகளைக் கொண்டு பகுக்கப்படுகின்றன. காற்றின் ஓட்டம் வெப்பக்கம்பி மைக்ரோபோனைக் கொண்டு பகுப்பாராயப்படும். சரியான பலனைப் பின்வரும் வளைகோட்டுப் படத்தில் காணலாம். துப்பாக்கி அலையை GW எனவும், குண்டு வெடி ஒலியை S எனவும், ஆன் டி சோக்கை O எனவும் குறிக்கப் பட்டுள்ளன. துப்பாக்கி அலை மெதுவான உருவாக்கத்தையும் அதிகக் காற்றோட்ட வீச்சையும் உட்படுத்தலால், எளிதில் பகுக்கப்படுகின்றது. ஒலி வேகம் கடந்து செல்லும் விமானங்களினால் உண்டாகும் இறுக்க அலைகள் மிகுந்த தடையைக் கொடுத்து விமானப் பகுதிகளில் அதிக அளவுள்ள தகைவையும் திரிபையும் ஏற்படுத்துவதோடல்லாமல், இரைச்சலையும் உண்டாக்கும். முன் செலுத்தியின் சில பகுதிகள் ஒலி வேகத்தை

மிஞ்சி அசையும். இவ் வகை முன் செலுத்திகள், ஜெட் விமானங்கள் ராக்கட்டுகள் முதலியவற்றினின்று எழும்இரைச்சல்



படம் 58

பகுப்பாய்வு செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்த இரைச்சல்களில் மேல் சுரங்கள் மிகுந்துள்ளன என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த மேல் சுரங்கள் செறிவுள்ளவை. இவற்றின் அதிர்வெண்கள், செவியின் உணர்வு நுட்பப் பெரும அளவு எல்லையில் இருக்கும்.

டாப்ளர் விளைவு (Doppler Effect)

சாதாரணமாக நம் அன்றாட அனுபவத்தில் கேட்டுணரும் ஒரு நிகழ்ச்சியே 'டாப்ளர் விளைவு' ஆகும். புகைவண்டித் தடத்தின் அருகே நாம் நிற்கும்பொழுது நம்மை நோக்கி ஓடி வரும் புகைவண்டி எஞ்சினின் ஊதல் ஒலியின் சுருதி அதிகரிப்பதையும், வண்டி நம்மைவிட்டு விலகி ஓடும்பொழுது ஊதல் ஒலியின் சுருதி குறைவதையும் கவனித்திருக்கிறோம். இவ்வாறு ஒலியின் சுருதி மாறுபடுவதைப்போல் தோன்றுவதே டாப்ளர் விளைவு எனப்படும்.

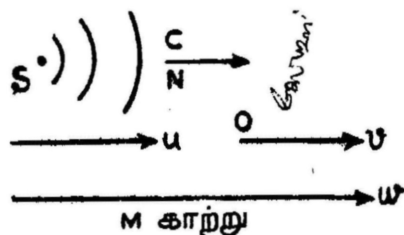
அது போல ஒலியை எழுப்பும் ஒலி மூலம் நிலைத்திருக்க, கேட்பவர் மூலத்தை நோக்கிச் செல்லும்பொழுதும், மூலத்தினின்று விலகிச் செல்லும்பொழுதும் ஒலியின் அதிர்வெண் மாறுவதையும் உணர்ந்திருப்போம். ஒலி மூலத்தை நோக்கிச் செல்லும்பொழுது கேட்பவர் காதை அடையும் ஒலி அலைகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது. அதனால் ஒலியின் அதிர்வெண் கூடுவதைப் போன்ற உணர்வு ஏற்படும். ஒலி மூலத்தைவிட்டு விலகிச் செல்லும்பொழுது கேட்பவர் காதை அடையும் ஒலி அலைகளின் எண்ணிக்கை குறைகிறது. அதனால் ஒலியின் அதிர்வெண் குறைவதைப் போன்ற உணர்வு ஏற்படும். அது போலவே, ஒலி மூலமும், கேட்பவரும் நிலைத்திருக்கக் காற்றோட்டத்தினாலும் கேட்கும் ஒலியின் அளவு மாறுபடுவதை உணரலாம்.

ஒலி மூலம் நகருவதாலோ, கேட்பவர் நகருவதாலோ, காற்றோட்டத்தாலோ அல்லது இம் மூன்று நிகழ்ச்சிகளாலோ ஓர் ஒலி

மூலம் எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வெண்ணில் மாறுதல் ஏற்படு வதைப் போல் தோற்றுவதுதான் டாப்ளர் விளைவு எனப்படும்.

உண்மையில் அதிர்வெண்ணில் எவ்வித மாற்றமும் ஏற்படுவ தில்லை. கேட்கும் ஒலியின் அதிர்வெண்ணில் மாறுதல் ஏற்படு வதைப் போன்ற தோற்றந்தான் உண்டாகின்றது. இதற்குக் காரணம், ஒலி மூலம் கேட்பவர், காற்று இவையெல்லாம் நகர்ந்து கொண்டிருப்பதுதான். இத் தோற்ற அதிர்வெண்ணுக்கு உண்மை அதிர்வெண், ஒலி, ஒலி மூலம், கேட்பவர், காற்று இவற்றின் வேகத்தை இணைத்து ஒரு சமன்பாட்டைப் பெறலாம்.

ஒலியின் உண்மை அதிர்வெண்ணை N என்றும், வேகத்தை C என்றும் எடுத்துக்கொள்வோம். u, v, w இவை மூன்றும் முறையே ஒலி மூலம் (S), கேட்பவர் (O), காற்று (M) இவற்றின் வேகத்தைக் குறிக்கட்டும். எல்லாம் ஒரே திசையில் நகருவ தாயும் வைத்துக்கொள்வோம்.



படம் 57

ஒலி மூலத்திற்கும் காற்றிற்குமுள்ள ஒப்பு வேகம் $= u - w$.

எனவே, ஒலிக்கும் ஒலி மூலத்திற்குமுள்ள ஒப்பு வேகம்

$$= c - (u - w)$$

$$= c + w - u$$

ஒலியின் உண்மை அதிர்வெண் $= N$

ஆகையால், ஒலியின் தோற்ற அலை நீளம் $= \dfrac{\text{ஒப்பு வேகம்}}{\text{அதிர்வெண்}}$

$$= \frac{c + w - u}{N} \quad \ldots(1)$$

கேட்பவருக்கும் காற்றுக்குமுள்ள ஒப்பு வேகம் $= v - w$

ஒலிக்கும் கேட்பவருக்குமுள்ள ஒப்பு வேகம் $= c - (v - w)$

$$= c + w - v$$

ஆகையால், கேட்பவர் காதில் படும் தோற்ற அதிர்வெண் } = $\frac{\text{ஒலிக்கும் கேட்பவருக்குமுள்ள ஒப்பு வேகம்}}{\text{தோற்ற அலை நீளம்}}$

$$\text{அதாவது } N^1 = \frac{c + w - v}{\lambda^1}$$

$$\text{எனவே } N^1 = \frac{c + w - v}{c + w - u} \times N \ldots (2)$$

இதனைப் பொதுவான சமன்பாடாகக் கொண்டு குறிப்பிட்ட சூழ்நிலைகளுக்கேற்பச் சமன்பாட்டை மாற்றி வேண்டிய தோற்ற அதிர்வெண்ணைக் காணலாம்.

(அ) காற்றோட்டமில்லாதபோது, அதாவது $w = o$ ஆனால்,

அப்போது தோற்ற அதிர்வெண் $N^1 = \frac{c-v}{c-u} \cdot N$ ஆகும்.

(ஆ) காற்றோட்டமில்லாதபோது கேட்பவர் ஒலி மூலத்தை நோக்கி நகர்ந்தால் $v = -v$ ஆகும்.

அப்போது $N^1 = \frac{c+v}{c-u} \cdot N \ldots,$ அதாவது தோற்ற அதிர் வெண் உண்மை அதிர்வெண்ணைவிடக் கூடுதலாயிருக்கும்.

(இ) காற்றோட்டமில்லாதபோது ஒலி மூலமும், கேட்பவரும் விலகிச் சென்றால் $u = -u$ ஆகும்.

ஆகையால் $N^1 = \frac{c-v}{c+u} \cdot N.$ இப்போது தோற்ற அதிர் வெண் உண்மை அதிர்வெண்ணைக்காட்டிலும் குறைவா யிருக்கும்.

(ஈ) ஒலி மூலம் நிலைத்திருந்தால், அதாவது $u = o$

$$\text{அப்போது } N^1 = \frac{c-v}{c} N \text{ ஆகும்.}$$

(உ) கேட்பவர் நிலைத்திருந்தால், அதாவது $v = o$

$$\text{அப்போது } N^1 = \frac{c}{c-u} \cdot N \text{ ஆகும்.}$$

(ஊ) ஒலி மூலம், கேட்பவர், காற்று எல்லாம் நிலைத்திருந்தால் $u = v = w = o$ ஆகும்.

அப்போது $N^1 = N.$

அதாவது கேட்கும் அதிர்வெண், எழும் அதிர்வெண் இரண்டும் சமமாக இருக்கும். அதாவது கேட்கும் ஒலியில் மாறுபாடு தோன்றாது.

இவ்வாறாக ஒவ்வொரு நிலைக்குத் தக்கவாறு தோற்ற அதிர் வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

மின்காந்த அலையியக்கம் (Electromagnetic Waves) யாவற் றிற்கும் டாப்ளர் விளைவு பொருந்தும். பல்வேறு வானாராய்ச்சி களுக்கும், விண்மீன்களின் வேகத்தைக் காண்பதற்கும் டாப்ளர் விளைவு பெரிதும் பயன்படுகின்றது.

உதாரணங்கள் :

1. ஒரு மனிதர் விநாடிக்கு 3 மீட்டர்கள் திசை வேகத்தில் ஒரு சுவரை நோக்கிச் செல்கிறார். அதிர்வெண் 256 உள்ள ஓர் இசைக்கவையை அவர் எடுத்துச் சென்று பிரதிபலித்த ஒலியை ஏற்றால், விநாடிக்கு எத்தனை விம்மல்களைக் கேட்பார்?

ஒலி வேகம் = 333 மீ./வி.

பிரதிபலித்த ஒலியின் அதிர்வெண் $= \dfrac{c+v}{c-v} . N$

$$= \frac{333+3}{333-3} \times 256$$

$$= \frac{336}{330} \times 256$$

கவையின் அதிர்வெண்ணை அவர் நேரே கேட்பார்.

எனவே, விம்மல்கள் $= \dfrac{336}{330} \times 256 - 256$

$$= 256 \left(\frac{6}{330}\right)$$

$$= 4{\cdot}7$$

விநாடிக்கு 4 அல்லது 5 விம்மல்களைக் கேட்பார்.

2. புகைவண்டித் தடத்தின் அருகே நிற்கும் ஒருவரை நோக்கி மணிக்கு 72 கி.மீ. வேகத்தில் ஒரு புகைவண்டி ஓடி வருகின்றது. அதன் என்ஜின் ஊதலின் சுருதி 420. ஒலியின் வேகம் 350 மீ./வி. நிற்பவர் கேட்கும் சுருதியின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

$$N = 420, \quad c = 350$$

$$u = \frac{72 \times 1000}{60 \times 60} = 20; \ v = 0$$

கேட்கும் சுருதி N^1 ஆக இருக்கட்டும்,

$$N^1 = \frac{C}{C-u} \cdot N$$

$$= \frac{350}{350-20} \times 420$$

$$= \frac{350 \times 420}{330}$$

$$= 445 \cdot 4$$

வினாக்கள்

1. ஒலியியலில் (i) ஒலிக் குறுக்கீடு, (ii) விளிம்பு விலகல் இவற்றை விளக்கும் சோதனைகளை விவரிக்கவும்.

2. ஒலி எதிர் முழக்கம், மெல்லொலிக் கூடம், அமைதி மண்டலங்கள் இவற்றைப்பற்றிக் குறிப்பு வரைக.

3. டாப்ளர் விளைவை விளக்கி, ஒலியின் உண்மையான அதிர்வெண்ணிற்கும் தோற்றவியல் அதிர்வெண்ணிற்குமிடையே யுள்ள சமன்பாட்டைப் பெறுக.

4. சாலை ஓரமாக நிலையாக நிற்கும் ஒருவரைக் கடந்து ஒரு கார் சீரான வேகத்தில் செல்கின்றது. காரின் கொம்பொலி மைனர்டோன் அளவு எழுகிறது. காரின் வேகத்தைக் கணக்கிடுக. [63·2 கி.மீ.]

5. ஒரு குன்றை நோக்கி வினாடிக்கு 3 மீட்டர் வேகத்தில் ஒரு புகைவண்டி ஓடுகிறது. என்ஜின் ஊதலின் ஒலிச்சுருதி 512. எதிரொலிக்கும் ஒலியின் தோற்றவியல் அதிர்வெண் வண்டி யோட்டுபவருக்கும், நிலையாக நிற்கும் ஒருவருக்கும் எவ்வாறு தோன்றும்? ஒலியின் வேகம் 332·00 மீ./வி. [521·3; 516·6]

8. ஒலியியல் அளவீடுகள்

(Acoustic Measurements)

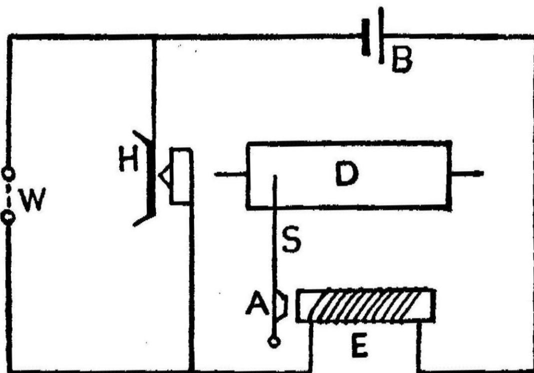
ஒலியியல் சோதனை முறைகள் சிலவற்றை முன் அத்தியாயங்களில் பார்த்தோம். இந்த அத்தியாயத்தில் கீழ்க்கண்ட சில ஒலியியல் சோதனை முறைகளை விவரிப்போம்: (அ) திட, திரவ, வாயுப் பொருள்களில் ஒலியின் வேகம் காணல், (ஆ) அதிர்வெண் கண்டுபிடித்தல், (இ) ஒலிச்செறிவைக் கண்டறிதல். பண்டைய சோதனைகளில் முக்கியமானவை சிலவற்றையும், மிக நுட்பமான சோதனை முறைகளையும் காண்போம்:

ஒலி வேகம்

(அ) **காற்றில் ஒலி வேகம்:** திறந்த வெளிக் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டறியும் முயற்சிகள் 17ஆம் நூற்றாண்டில் மேற்கொள்ளப்பட்டன. பாரிஸ் கலைக்குழு முதன்முதலில் சோதனை செய்து உலர்ந்த காற்றில் ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 332 மீட்டர் எனக் கணக்கிட்டது. 288 கி. மீட்டர் இடைவெளியில் இரு வானிலைக் கூடங்களை அமைத்து, ஒன்றிலிருந்து ஒரு பீரங்கியை இரவு நேரத்தில் வெடித்து, அதனின்று எழும்பிய திடீர் ஒளியையும், ஒலியையும் மற்றொன்றிலிருந்து கவனித்தனர். ஒளியைப் பார்ப்பதற்கும் ஒலியைக் கேட்பதற்கும் இடைப்பட்ட நேரத்தைக் கண்டுபிடித்து ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டனர். இதே கொள்கையில் பலர் சோதனைகளை நடத்தி ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டனர். மிர்பாக் (Myrback) என்பவர் 1823ஆம் ஆண்டிலும், பிரேயெர்ஸும் (Brairs), மார்ட்டினும் (Martins) 1884ஆம் ஆண்டிலும் சோதனைகள் செய்து 0° செ.ல் காற்றில் ஒலியின் வேகம் 332·4 மீ./வி. எனக் கண்டனர். மேலும், பாரி (Parry) என்பவர் ஆர்ட்டிக் மண்டலத்தில் (Artic Region) கீழே வெப்ப நிலைகளில் ஒலியின் வேகத்தைக் காணச் சோதனைகள் செய்துள்ளார். வெப்ப நிலைக்கேற்ப ஒலியின் வேகம் மாறுபடும் என்பதையும் நிரூபித்துள்ளார்கள். 1864ஆம் ஆண்டு ரெயினால்ட் (Regnault) என்பவர் நேரத்தை மின் சாதனைகளைக் கொண்டு அளந்து ஒலியின் வேகத்தைத் துல்லிய முறையில் கணக்கிட்டார். அவரது முறையைக் காண்போம்:

ரெய்னல்ட் முறை (Regnault's Method)

D என்னும் வட்டுருளை மணிப்பொறியொன்றினால் சீராகச் சுழற்றப்படுகின்றது. உருளை புகையிடப்பட்டுள்ளது. *S* என்னும் எழுத்தாணி, அதில் நேர்க்கோடிடும். *S*-உடன் இணைந்த ஆர்மெச்சர் *A*, ஒரு மின்காந்தத்தால் ஈர்க்கப்பட்டுள்ளது. மின்



படம் 58

காந்தத்தின் சுருள் ஒரு மின்கலம் *B*, ஒரு மெல்லிய கம்பி *W* முதலியவற்றுடன் தொடராக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. *W*, ஒலி யனுப்பும் நிலையத்திலுள்ளது. ஒலி ஏற்கும் நிலையம் தொலைவி லுள்ள *H* என்னும் கொம்பு ஆகும். இக் கொம்பு சற்றுப் பின் நகர்ந்தால், *P* என்னும் பிளாட்டினம் புள்ளியைத் தொடும். கம்பியை ஒரு துப்பாக்கியால் சுட்டால் மின்தொடர்பு அற்று, மின்காந்தம் நீக்கம் பெறும். ஆர்மெச்சர் ஈர்ப்பற்று எழுத் தாணியை விடும். எழுத்தாணி உருளையின்மீது முன் வரைந்த கோட்டிற்கு இணையாக இரண்டாவது கோட்டை வரையும்.

துப்பாக்கி ஒலி *W*-லிருந்து சென்று கொம்பின் சவ்வில் விழுந்து அதைப் பின் தள்ளும். இப்போது பிளாட்டினம் புள்ளி யுடன் தொடர்பேற்பட்டு மின்காந்தம் மீண்டும் இயக்கம் பெறும். எழுத்தாணி இழுக்கப்பட்டு உருளையில் மூன்றாவது இணைகோட்டை வரையும். இரண்டாவது கோடும் மூன்றாவது கோடும் வரையப்படும். இடைவெளி நேரத்தில் ஒலி பரவும் தொலைவு *WH* ஆகும். இவ்விரண்டு இணைகோடுகளுக்கும் இடைப் பட்ட தொலைவையும், உருளையின் பரிதியையும் அளந்து, உருளை யின் சுழல் வேகத்தையும் தெரிந்து *WH* தொலைவை ஒலி கடக் கும் நேரத்தைக் கணக்கிடலாம். இவற்றிலிருந்து ஒலியின்

வேகத்தையும் கணக்கிடலாம். 'W'-க்கும், 'H'-க்கும் இடைப் பட்ட தொலைவை X எனவும், உருளையின் ஆரம் r எனவும், சுழல் வேகத்தை n எனவும் எடுத்துக்கொண்டால், ஒலியின் வேகம்,

$C = \frac{2\pi\, rnx}{l}$; l என்பது இரண்டு இணைகோடுகளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு.

இச் சோதனையின்மூலம் காற்றின் அழுத்த மாறுபாட்டினால் ஒலியின் வேகத்தில் எந்த மாற்றமும் ஏற்படுவதில்லை என்பதை யும் கண்டார்.

ஒன்றிப்பு முறை (Method of Coincidence)

போஸ்ச்சா என்பவர் அனுசரித்த இந்த ஒன்றிப்பு முறையில் நேரத்தை அளவிடுதலில் சோதனையாளரால் பிழை ஏதும் ஏற் படாது. இரு சிறு மின்காந்தச் சுத்திகள் குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் ஏற்படும் மின்னடைப்புக்கேற்ப இயக்கப் பெற்று 1/10 வினாடிக்கொரு முறை 'டிக்' ஒலி எழுப்புகின்றன. இப் பொறிகள் அருகே இருக்கும்போது ஒரே சமயத்தில் கேட் கும் 'டிக்' ஒலிகள் ஒன்றுகின்றன. ஒன்று மற்றதினின்று தொலை வில் எடுத்துச் செல்லப்பட்டால், முதல் பொறியின் அருகில் நிற்கும் பார்வையாளர், 'டிக்' ஒலியைத் தனித்தனியாகக் கேட்பார். இரு பொறிகளினின்றும் எழும் டிக்கொலியின் கால இடைவெளி முதலில் அதிகரித்துப் பின் குறையும். இரண்டாவது பொறியின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் 'டிக்' ஒலிகள் மீண்டும் ஒன்றும். இரு பொறிகளுக்கும் குறைந்தது 34 மீட்டர்கள் இடைவெளி இருக்கும் போது இவ்வொன்றிப்பு ஏற்படுவதைக் காணலாம். இந்த விதமாக 1/10 வினாடியில் ஒலி 34 மீட்டர் செல்லுகிறதென்றும், எனவே ஒலியின் வேகம் வினாடிக்கு 340 மீட்டர்கள் என்றும் தீர் மானிக்கப்பட்டது.

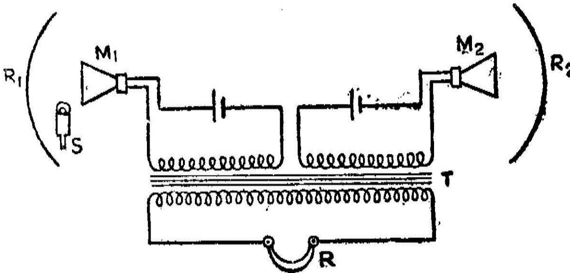
கால் (Kahl) என்பவர் ஒரு பொறியை மட்டுமே பயன்படுத்தி இம் முறையை எளிதாக்கினார்; ஒரு சுவரின் முன் வைக்கப்பட்ட மெட்ரோனோம் என்னும் பொறியைக் குறிப்பிட்ட கால இடை வெளிகளில் ஒலியெழுப்பச் செய்தார். அவ்வொலி நேராக ஒரு முறையும், சுவரில் எதிரொலித்து ஒரு முறையும் கேட்டது. மெட்ரோனோமைச் சிறிது சிறிதாய்ச் சுவரை விட்டு விலக்கி எடுத்துச் செல்ல இவ்விரு ஒலிகளுக்குமிடையேயுள்ள காலம் குறைந்து வந்தது. ஒரு கட்டத்தில் இருஒலிகளும் ஒரே சமயத்தில் கேட்டன. அதாவது ஒலியும் எதிரொலியும் ஒன்றின. இப்போது மெட்ரோனோமின் இரு ஒலிகளுக்கும் இடைப்பட்ட காலமும்,

ஓர் ஒலி மெட்ரோனேமிலிருந்து கிளம்பிச் சுவரில் எதிரொலித்துத் திரும்ப மெட்ரோனேமுக்கு வர ஆகும் காலமும் சமம். இரு ஒலிகளுக்குமிடைப்பட்ட காலம் t ஆகவும், மெட்ரோனேமுக்கும் சுவருக்குமிடையேயுள்ள தொலைவு d ஆகவும் இருந்தால், ஒலியின் வேகம் $C = 2d/t$ ஆகும். இம் முறையில் ஒலியின் வேகம் வினாடிக்குச் சுமார் 340 மீட்டர்கள் எனக் கண்டார்.

ஹெப் தொலைபேசி முறை (Hebb's Telephone Method)

மேற்கண்ட ஒன்றிப்பு முறையில் சில குறைபாடுகள் உள்ளன. காற்று, வெப்பம், ஈரப்பதன் முதலியவற்றால் ஏற்படும் குறைகளைப் போக்குவது எளிதல்ல. மைக்கல்சன் என்பவரின் யோசனையின்படி, ஒன்றிப்பு முறையை மாற்றியமைத்து 120 அடி நீளமுள்ள அறையில் சோதனையைச் செய்து ஹெப் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டார்.

பாரிஸ் சாந்திரால் செய்யப்பட்ட இரு பர வளைய ஆடிகளை R_1 R_2 (Parabolic Mirrors) ஒன்றையொன்று பார்க்க அமைத்தார்; ஒவ்வொன்றின் துளையும் (Aperture), குவிய தூரமும் முறையே 5 அடி, 15 அங்குலமாக இருக்குமாறு செய்தார். S என்னும் ஊதலை இயக்கினால் [மாறாத அதிர்வெண்ணுடைய ஒலி எழும். ஆடிகளின் குவியத்தில் தொலைபேசி பரப்பிகள் M_1 M_2 (Telephone Transmitters) வைக்கப்பட்டுள்ளன. பொதுவான துணைச்சுருள் கொண்ட ஒரு மின்மாற்றியின் T முதன்மைச் சுருள்களுடன் தொலைபேசிகள் மின்கலத்தின் வழியே இணைக்கப்பட்டுள்ளன, ஒரு தொலைபேசி ஏற்பி (Telephone Receiver) R மின்மாற்றியின் துணைச்சுருளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 59

ஊதலை இயக்கி ஒலியை எழுப்பினால், M_1 ஒலியை நேரே ஏற்கும். R_1-ல் விழும் ஒலி பிரதிபலிக்கப்பட்டு R_2-ல் விழுந்து

M_2-வில் குவிக்கப்படுகின்றது. இரு ஆடிகளும் ஒலியை ஒரே கட்டத்தில் ஏற்பதாகக் கொள்வோம். இவ்வொலி மின்னாற்ற லாக மாறி M_1, M_2 இவற்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள முதன்மைச் சுற்றுகளில் மின்னோட்டம் ஏற்படும். முதன்மைச் சுற்றுகளு டன் தக்க மின்தடைகளை இணைத்து அவற்றில் ஓடும் மின்னோட் டத்தின் மதிப்பைச் சமமாக்கலாம். ஒரே மாதிரியான இவ்விரு முதன்மைச் சுற்றுகளும் எதிராக இணைக்கப்பட்டுள்ளதால், இணைச்சுருளில் மின்னியக்கு விசை ஏதும் தூண்டப்படாது. அதனால் அதனுடன் இணைக்கப்பட்ட தொலைபேசி ஏற்பியில் ஒலி கிடைக்காது. R_2-வின் குவியத்தில் M_2 இருக்குமாறு, R_2-ஐ மெது வாக நகர்த்திச் சென்றால் திரும்பவும் ஒரு நிலையில் ஏற்பியில் ஒலி கேட்காது. R_2-ஐ நகர்த்திய தூரம் ஒலி அலையின் நீளத்தைக் கொடுக்கும்.

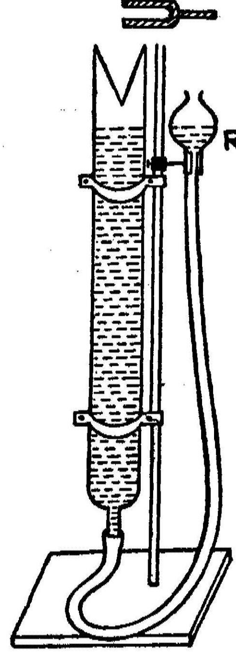
ஆடியைத் தொடர்ந்து மெதுவாக நகர்த்திக்கொண்டே சென்றால், இரண்டு முதன்மைச் சுருள்களடங்கிய விளைவுகளின் துடிப்பு நிலை வேறுபாடு மாறுதலடைந்து ஒலி மாறி மாறி வலி யூட்டமும், வலி அழிவும் அடையும். வலிவுறும்பொழுது பெரும ஒலியும், வலி அழிவேற்படும்பொழுது ஒலிச் சிறுமமும் மாறி மாறி ஏற்பியில் கேட்கும். இம் முறையில் ஒலி அலையின் நீளத்தைத் துல்லியமாக அளக்கலாம்.

ஹெப் பயன்படுத்திய ஒலியின் அதிர்வெண் 2376 ஹெர்ட்ஸ். இவ்வாறாக ஒலி அலையின் நீளத்தையும், ஒலியின் அதிர்வெண் ணையும் தெரிந்து ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். காற்றில் $0°$ செ.-ல் ஹெப் கண்ட ஒலி வேகம் $331{\cdot}29 \pm 0{\cdot}04$ மீ./ விநாடி யாகும்.

காற்றில் ஒலியின் வேகம்: ஒத்திசைவுத் தம்ப முறை

இரண்டு பக்கமும் திறந்துள்ள ஓர் அகண்ட நீண்ட கண்ணாடிக்குழாய் செங்குத்தாக ஒரு தாங்கியில் பிணைக்கப் பட்டுள்ளது. குழாயின் கீழ்ப்புறம் ஓர் இரப்பர்க்குழாயின் உதவி கொண்டு ஒரு நீர்த்தேக்கியுடன் (reservoir) R இணைக்கப் பட்டுள்ளது. அதிர்வெண் தெரிந்த ஓர் இசைக்கவை ஒன்றை இயக்கி, கண்ணாடிக்குழாயின் வாயினருகே பிடித்துக்கொண்டு நீர்த்தேக்கியை மெதுவாகத் தாழ்த்த வேண்டும். குழாயின் வாய்க்கும் அதன்கீழ் உள்ள நீர்மட்டத்திற்கும் இடையேயுள்ள காற்றுத்தம்பத்தின் நீளம் அதிகரிக்கின்றது. காற்றுத்தம்பத் தின் ஒரு குறிப்பிட்ட நீளத்தில் இசைக்கவைக்கு இணையாகக் காற்றுத்தம்பம் ஒத்திசைக்கும். சோதனையைப் பலமுறை

செய்து ஒத்திசையும் இடத்தைத் துல்லியமாகக் குறிக்க வேண்டும். இப்படி ஒத்திசைவு நிகழ்வதற்கு வேண்டிய மிகச் சிறிய காற்றுத்தம்பத்தை அளக்க வேண்டும். இந்த நீளம் l_1 செ.மீ. ஆக இருக்கட்டும். இக் கட்டத்தில் குழாயினில் உள்ள நீர்மட்டத்தில் ஒரு கணுவும், குழாயின் வாய்க்குச் சற்று மேலே ஓர் எதிர்க்கணுவும் இருக்கும். ஒலி அலையின் நீளம் λ எனவும், முனைத்திருத்தத்தை C எனவும் கொண்டால்



படம் 60

$$\tfrac{1}{4}\lambda = l_1 + e \ldots (1) \text{ ஆகும்.}$$

முனைத்திருத்தத்தைப் போக்க, நீர்த்தேக்கியை இன்னும் கீழே தாழ்த்திக்கொண்டே சென்றால், மற்றொரு கட்டத்தில் முன்போல் மறுபடியும் ஒத்திசைவு ஏற்படும். அதாவது முன் நீளத்தின் மூன்று மடங்கைவிடச் சிறிது அதிகமான நீளம் வரும்போது முதல் மேற்சுரத்தில் ஒத்திசைவு ஏற்படும். இப்போது இரு கணுக்களும், இரு எதிர்க்கணுக்களும் இருக்கும். ஒலியின் செறிவு அதிகமாக இருக்கும். இப்போது வாயுத்தம்பத்தின் நீளம் l_2 செ.மீ. ஆனால்

$$\tfrac{3}{4}\lambda = l_2 + \epsilon \ldots (2) \text{ ஆகும்.}$$

இரண்டாவது சமன்பாட்டிலிருந்து முதல் சமன்பாட்டைக் கழிக்க

$$l_2 - l_1 = \lambda/2 \text{ என்றாகும்.}$$

எனவே $\lambda = 2\,(l_2 - l_1)$ ஆகும்.

இசைக்கவையின் அதிர்வெண் n ஆனால், அறையின் வெப்பநிலையில் காற்றில் ஒலியின் வேகம் $C = 2n\,(l_2 - l_1)$ ஆகும்...(3) இதிலிருந்து 0° செ. வெப்பத்தில் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை

$$Co = C\left(1 - \frac{t}{546}\right)$$

என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம்.

முனைத்திருத்தத்தைக் காணல்

சமன்பாடு (1) × 3 தருவது

$$\frac{3}{4}\lambda = 3l_1 + 3e$$

ஆனால் $\frac{3}{4}\lambda = l_2 + e$

எனவே $3l_1 + 3e = l_2 + e$

அல்லது $2e = l_2 - 3l_1$

அல்லது $e = \frac{l_2 - 3l_1}{2}$ செ.மீ.

இம் முறையில் குழாயின் முனைத்திருத்தத்தையும், காற்றில் ஒலியின் வேகத்தையும் கணக்கிடலாம்.

அட்டவணை

எ.	இசைக்கவையின் அதிர்வெண் (n)	l_1	l_2	$C = 2n(l_2 - l_1)$
			சராசரி ஒலி வேகம்	

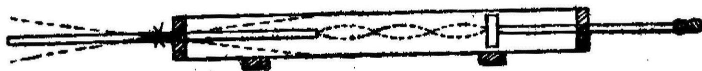
இதர வாயுக்களில் ஒலியின் வேகம்

வாயுத்தம்ப ஒத்திசைவு முறையில் வாயுக்களில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். ஒன்றினுள் ஒன்று நழுவும் இரு உலோகக் குழாய்களைப் பயன்படுத்தலாம். அகன்ற குழாயின் ஒரு முனை மூடப்பட்டிருக்க வேண்டும். காற்றைவிட இலேசான வாயுக்களுக்கு மூடிய பக்கம் மேலேயும், காற்றைவிடக் கனமான வாயுக்களுக்கு மூடிய பக்கம் கீழேயும் இருக்க வேண்டும். உள் குழாயை நன்றாக வெளியில் இழுத்து வைக்கவும். அதிர்வெண் தெரிந்த இசைக்கவையை இயக்கி உள் குழாயின் திறந்த முனைமுன் பிடித்து உள்குழாயை மெதுவாக உள்ளே தள்ள ஒரு நிலையில் காற்றுத்தம்பத்தில் ஒத்திசைவு ஏற்படும். ஒத்திசையும் காற்றின் நீளம் l ஆனால், அறையின் வெப்ப நிலையில் அவ் வாயுவின் ஒலியின் வேகம் $= 4n(l + 0{\cdot}3d)$ ஆகும்.

'*d*' என்பது உள்குழாயின் விட்டம், 0·3*d* என்பது முனைத் திருத்தம் ஆகும். '*n*' இசைக்கவையின் அதிர்வெண்.

குண்ட் குழாய் (Kundt's Tube) : குண்ட் குழாய் முறையில் வாயுக்களிலும், திடப்பொருள்களிலும் ஒலியின் வேகத்தை அளக்கலாம். இதே முறையில் ஒரு பொருளின் மீட்சிக் குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

குண்ட் குழாய் என்பது சுமார் 4-5 செ.மீ விட்டமும், 100 செ. மீ. நீளமும் உள்ள கண்ணாடிக் குழாயாகும். இருபுறமும் திறந்துள்ள இக் குழாய்க்கு அலைக்குழாய் (Wave Tube) என்று பெயர். இது ஒரு சமதளப் படுக்கைப் பலகையின்மேல் பொருத்தப் பட்டுள்ளது. ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள கண்ணாடி அல்லது உலோகத்தினாலான ஒரு தண்டு (rod) அதன் மையத்தில் உறுதியாகப் பிடிக்கப்பட்டு ஒரு முனை குழாயினுள் நுழைக்கப்பட்டிருக்கும். இத் தண்டிற்கு ஒலிக்கும் தண்டு (Sounding Rod) என்று பெயர். தண்டு, குழாயின் அச்சுடன் இணைய வேண்டும். குழாயினுள் உள்ள தண்டின் முனையில் ஓர் எபொனைட் வில்லை (ebonite disc) பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இவ் வில்லையின் விட்டம் குழாயின் விட்டத்தைவிடச் சற்று சிறியதாயிருக்கும். அதனால் தண்டு அதிரும்போது வில்லை குழாயைத் தொடாது.



படம் 61

குழாயின் மற்றொரு வாய் நகரக்கூடிய ஓர் இரப்பர் மூடியால் அடைக்கப்பட்டிருக்கும்.

குழாய் எப்போதும் உலர்ந்திருக்க வேண்டும். நன்றாக உலர்ந்த நுண்ணிய கார்க் தூளையாவது, லிகோபோடியம் (lycopodium) தூளையாவது குழாயினுள் சீராகப் பரப்ப வேண்டும். ஆல்கஹாலில் நனைத்த பஞ்சு அல்லது ரோசனத்தூள் கொண்ட தோல் கொண்டு உலோகத்தண்டை நீள வாட்டத்தில் இழுத்தால் நெட்டலைகள் எழும். இரப்பர் மூடியை முன்னே பின்னே இழுத்து அதற்கும் எபொனைட் வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட காற்றுத்தம்பத்தின் நீளத்தைச் சரி செய்ய, தண்டை இழுக்கும்பொழுது கத்தாமலோ, அலறாமலோ அதிகச் சுருதியுள்ள ஒலி கேட்கும். தம்பத்தில் நிலையான நெட்டலைகள் ஏற்பட்டுக் குழாயினுள் கணுக்களும்

எதிர்க்கணுக்களும் தோன்றும். குழாயினுள் தெளிக்கப்பட்ட லிகோபோடியம் தூள்கள் துடித்துக் சில இடங்களில் குவியலாகச் செல்கின்றன. சில இடங்களில் தூள்கள் விலகிச் செல்கின்றன. குவியலாய் உள்ள இடங்களில் தூள்கள் அசைவு இல்லை. இவ்விடங்கள் கணுக்களாகும். விலகிச் செல்லும் இடங்களில் தூள்கள் அதிகம் துடிக்கின்றன. இவ்விடங்களெல்லாம் எதிர்க்கணுக்களாகும். தூள்களின் அமைப்பு அலையைப் போன்றிருக்கும். இந் நிலையில் தண்டின் அதிர்வெண்ணும், குழாயினுள் உள்ள வாயுவின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றாகி ஒத்திசைவு நிகழும். அதனால் ஒலி பெருகிக் கேட்கும். இப்போது காற்றலையின் மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண் n ஆக இருக்கட்டும். அலைக் குழாயில் தூளின் இரு குவியல்களுக்கிடையேயுள்ள சராசரி தூரம் 'l_a' என்றால், காற்றில் அலை நீளம் $\lambda = 2l_a$ ஆகும். எனவே, காற்றில் ஒலியின் வேகம் $C = 2l_a n$ ஆகும்...(1) தண்டின் அதிர்வெண் n தெரிந்தால், காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

ஒலித்தண்டு மூலச்சுரத்தை எழுப்பும்போது, அதன் இரு முனைகளும் எதிர்க்கணுவாகவும், அசையாமலிருக்கும் பதிக்கப்பட்ட மையம் கணுவாகவும் அமையும். எனவே, தண்டின் நீளம், அரை அலை நீளத்திற்குச் சமம். எனவே, தண்டின் நீளம் l_s ஆனால், தண்டில் ஒலியின் அலை நீளம் $\lambda_s = 2l_s$.

மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண் n ஆகையால், தண்டில் (அதாவது திடப்பொருளில்) ஒலியின் வேகம் $C_s = 2l_s.n$ ஆகும்...(2)

சமன்பாடு (2)-ஐ (1)ஆல் வகுக்க

$$C_s/C_a = \frac{l_s}{l_a} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே, } C_s = C_a . \frac{l_s}{l_a}$$

ஆகையால், குழாயினுள் உள்ள காற்றில் ஒலியின் வேகம் C_a தெரிந்தால், தண்டில் (திடப்பொருளில்) ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

இம் முறையில் இரு வாயுக்களில் ஒலியின் வேகங்களை ஒப்பிடலாம். ஷில்லிங், காயி, ஷெர்ராட் முதலானோர் குண்ட் குழாய் முறையை மாற்றியமைத்து, பல :வாயுக்களில் பல வெப்ப நிலையில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடித்தனர்.

திடப்பொருளில் மீட்சிக் குணகம் (Young's Modulus)

மேற்கண்ட குண்ட் குழாய்ச் சோதனையினின்று திடப்பொருளின் மீட்சிக் குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். குழாயினுள் பயன்படுத்தப்பட்ட தண்டின் அடர்த்தி P ஆக இருக்கட்டும். தண்டில் ஒலியின் வேகம் C_s மேற்கண்டவாறு கிடைக்கப் பெறும்.

திடப்பொருளில் ஒலியின் வேகம் $C_s = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$ என்பதை நாம் அறிவோம்.

எனவே $C_s^2 = q/p$ ஆகையால்,

$q = C_s^2 \cdot \rho$ என்பதினின்று

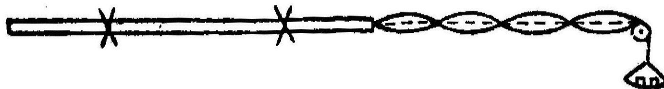
தண்டின் யங் மீட்சிக் குணகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

திடப்பொருளில் ஒலியின் வேகம் (Velocity of Sound in Solids)

மேல் குறிப்பிட்டபடி குண்ட் குழாயைப் பயன்படுத்தி ஒரு திடப்பொருளில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். காற்றில் ஒலியின் வேகம் தெரிந்தால்தான் இம் முறையைப் பயன்படுத்தலாம்.

காற்றில் ஒலியின் வேகம் தெரியாவிட்டாலும் கீழ்க்கண்ட முறையில் திடப்பொருளில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

இரண்டு மீட்டர் நீளமுள்ள திடப்பொருள் தண்டை எடுத்து, இரு முனைகளிலிருந்தும் அதன் நீளத்தில் நான்கில் ஒரு பங்கு நீளத்தில் உறுதியாகப் பிடித்துக் கிடத்த வேண்டும். தண்டின் ஒரு முனையில் ஒரு மெல்லிய கயிற்றைக் கட்டி, தண்டுக்கு இணையாக எடுத்து ஒரு கப்பியின்மேல் செலுத்தி, ஒரு தட்டுடன் இணைக்க வேண்டும். தண்டை அதன் மையத்தில் பிடித்து நீளவாட்டத்தில் இழுத்து இயக்க வேண்டும். தக்க எடையைத்



படம் 62

தட்டில் வைத்தால் கயிறு தெளிவான துண்டுகளாகப் (Segments) பிரிந்து அதிர்வுறும். கணுக்களும் தெளிவாய்த் தெரியும்.

துண்டுகளின் சராசரி நீளத்தை (l) அளவிடவும். 10 மீட்டர் நீளமுள்ள அதே கயிற்றின் எடையைக் கண்டு கயிற்றின் நெடுக்கை அடர்த்தியை (m) கணக்கிட்டுக் கொள்ளவும். தட்டின் எடையையும் சேர்த்துக் கயிற்றின் இழுவிசையை (T) குறித்துக் கொள்ளவும். கயிற்றின் அதிர்வெண்

$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ஆகும். தண்டின் அதிர்வெண் இதைப் போல் இரு மடங்காகும். எனவே, தண்டின் அதிர்வெண்

$$N = 2n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}.$$

தண்டின் நீளம் L, தண்டில் அலை நீளத்திற்குச் சமம். எனவே, தண்டில் ஒலி வேகம் $C_s = N \times L. = \frac{L}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ஆகும். இவ்வாறாக ஒரு திடப்பொருளில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டு பிடிக்கலாம்.

திரவப் பொருள்களில் ஒலி வேகம் (Velocity of Sound in Liquids)

நீரில் ஒலியின் வேகத்தைக் காண குண்ட் குழாய் முறையைப் பயன்படுத்தலாம். சுமார் 2 மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு குழாயை ஒரு முனையில் சிறிது வளைத்து மூடி விடவும். மறு முனையைச் சுமார் 10 செ. மீ. உயரத்திற்கு வளைத்துத் திறந்தவாறு நிறுத்தவும். திறந்த முனையில் ஓர் ஆர்கன் குழாயை ஊதவும். நுண்ணிய இரும்புத்தூள் அல்லது கார்பன் தூளைத் தண்ணீரில் மிதக்க விட்டு அதிர்விலாப் புள்ளிகளைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். ஆர்கன் குழாயின் அதிர்வெண்ணைத் தெரிந்து, அதிர்விலாத் தளங்களின் இடைப்பட்ட தூரத்தை அளந்து நீரில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். மற்ற திரவங்களுக்கும் இம் முறையைப் பயன் படுத்தலாம்.

1826ஆம் ஆண்டில் கொல்லோடன் (Colladon), ஸ்ட்ரும் (Strum) என்பவர்கள் ஜெனிவா ஏரியில் 14 மைல் இடைவெளியில் சோதனைத் தளங்களை நீரினுள் அமைத்து நீரில் ஒலியின் வேகத்தை அளந்தனர். ஒரு தளத்தில் ஒரு மணியை நீரினுள் வைத்தனர்; மறு தளத்தில் 1/5 வினாடி துல்லியமாக அளக்கும் ஒரு கெடிகாரத்தையும் வைத்தனர்; மணியை அடித்து ஒலியையும், அதே சமயத்தில் ஓர் உருகு கம்பியைப் பற்ற வைத்து ஒளியை யும் உண்டாக்கினர். ஒளியும் ஒலியும் வெவ்வேறு நேரங் களில் கெடிகாரத்தை அடைந்தன. இவ்விரு நேரங்களுக்குமிடைப்

பட்ட இடைவெளிக் காலத்தை 9·4 விஞடியாக அளந்தனர்; இரு சோதனைத் தளங்களுக்குமிடையேயுள்ள தூரத்தைத் தெரிந்து நீரில் ஒலியின் வேகத்தை விஞடிக்கு 1435 மீட்டர்கள் என்று கணக்கிட்டனர். இதற்கு முன்பே நீரில் ஒலியின் வேகத்தைக் கோப் (Kopp) என்பவர் விஞடிக்கு 1437 மீட்டர்கள் என்று கண்டுபிடித்திருந்தார்.

திரல்ஃபால் (Threlfall), அடியார் (Adiar) என்பவர்கள் மைக்ரோபோன் அல்லது ஹைட்ரோபோனைப் பயன்படுத்திக் கடல் நீரில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டார்கள்; 1888ஆம் ஆண்டில் போர்ட் ஜாக்ஸன் என்னும் துறைமுகத்திற்கருகில் 4 மைல் இடைவெளியில் இரு சோதனைத் தளங்களை அமைத்தார்கள்; நீருக்குள் வெடி ஒலியெழுப்பி, ஒலியலைகள் இரு மைக்ரோபோன்களைக் கடக்கும் நேரத்தை மின்கால வரைவிமூலம் துல்லியமாக அளந்தார்கள்; இதனின்று ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டார்கள்; ஒலியின் வலிவிற்கேற்ப (Intensity) நீரில் ஒலியின் வேகம் மாறும் என்பதை நிரூபித்தார்கள். ஒலி வேகத்தின் மதிப்பு, திரவத்தின் பாகு நிலையையும் (Viscocity), சோதனைக்கு எடுத்துக் கொண்ட ஆர்கன் குழாயின் பருமனையும் பொருத்திருக்குமென்று ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் நிரூபித்தார்.

திரவத்தின் பரும மீட்சிக் குணகம் K எனவும், திரவத்தின் அடர்த்தி P எனவும் கொண்டால், திரவத்தில் ஒலியின் வேகம் $C = \sqrt{k/p}$ ஆகும். இச் சமன்பாட்டின்படி கணக்கிடப்பட்ட ஒலியின் வேகமும் சோதனைமூலம் பெற்ற ஒலியின் வேகமும் ஒத்திருந்தன. பல திரவப் பொருள்களில் ஒலியின் வேகம் கீழ்க் காணும் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன :

திரவத்தின் பெயர்	வெப்ப நிலை	ஒலி வேகம்
நீர்	20°C	1435 மீ./வி.
கடல் நீர்	,,	1453 ,,
ஈதர்	0°C	1160 ,,
ஆல்கஹால்	20°	1280 ,,
குளோரபார்ம்	10°	1066 ,,

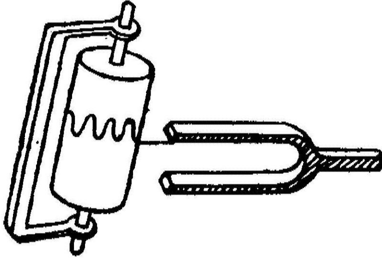
அதிர்வெண் காணல் (Determination of Frequency)

ஒலிகள் நாம் நேரிடையாகக் கையாளக்கூடிய இசைக்கவை, துடிக்கும் கட்டை (vibrating bar) முதலிய கருவிகள் அலைவுறு வதால் எழலாம்; அல்லது தொலைவிலிருந்து வரும் மணியோசை இசைக் கருவிகளினின்று எழும் நாதம் முதலியவற்றிலிருந்து எழலாம். முதல் வகையில் ஒலி எழுப்பும் கருவிகளின் அலைவு களை நாம் நேரிடையாகக் காண முடியும். இரண்டாவது வகை ஒலிகளை நாம் நேரே காணக்கூடிய கருவிகளின் ஒலிகளுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கலாம். எனவே, அதிர்வெண்களைக் கண்டு பிடிக்கும் முறைகளை இரு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

சுழல் வட்டுருளை, ஸ்ட்ரோபோஸ்கோப், போனிக் சக்கரம் போன்ற நேரிடை முறைகளையும், சாவர்ட் சக்கரம், தட்டுசங்கு (Siren) போன்றவற்றைப் பயன்படுத்தி விம்மல்கள் முறையிலும் அதிர்வெண்களைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

சுழல் வட்டுருளை (Revolving Drum)

ஒரு மோட்டாரின் உதவி கொண்டு ஒரு வட்டுருளை சீரான வேகத்தில் சுழற்றப்படுகின்றது. உருளை சுழலும்போது அதன் அச்சில் நகரும் தன்மையுடையது. புகை படிந்த காகிதம் உருளையின்மேல் பதிக்கப்பட்டுள்ளது. மின்னிசைக்கவையின் முள்ளில் இணைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் எழுத்தாணி, புகைத்தாளின் மேல் அலைக்கீறலை இடும். ஒரு தூண்டு மின்சுருளின் துணைச் சுற்று, உருளையை யும், இசைக்கவையையும் இணைத்துள்ளது. தூண்டு மின்சுருளின் முதன்மைச் சுற்றின் ஒரு முனை ஒரு மின்கலம், பாதரசம் கொண்ட கிண்ணம் இவற்றுடன் இணைக்கப்



படம் 68

பட்டு மறுமுனை ஒரு வினுடி ஊசலுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஊசல் நிலைத்தளத்தினின்று பாதரசக் கிண்ணத்தைக் கடக்கும் ஒவ்வொரு முறையும் முதன்மை மின்சுற்றை இயக்கும். மின் சுற்று இயக்கம் பெறும் ஒவ்வொரு முறையும் எழுத்தாணியி லிருந்து உருளைக்குப் புகைத்தாள் வழியே மின்பொறி பாயும். அதனால் அவ்விடத்திலுள்ள கரித்தூள் விலக்கப்படும். கரித் தூள் நீக்கப்பெற்ற அடுத்தடுத்துள்ள இரு புள்ளிகளுக்கிடையே யுள்ள அலைகள் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கொடுக்கும்.

எழுத்தாணியின் எடையினால் அதிர்வெண் சிறிது குறைந்து காணப்படும். இதற்கான திருத்தத்தைப் பின்வரும் முறையில் செய்யலாம்: வெவ்வேறு எடையுள்ள பல எழுத்தாணிகளைப் பயன்படுத்தி அதிர்வெண்ணைக் கண்டு, எடையையும், அதிர் வெண்ணையும் இணைக்க ஒரு வரைகோடு வரையவும். இவ் வரை கோட்டினின்று சுழி எடையுள்ள எழுத்தாணிக்கேற்ற அதிர் வெண்ணைக் காணலாம். இதுவே இசைக்கவையின் சரியான அதிர்வெண்ணைக் கொடுக்கும்.

ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் (Stroboscope Method)

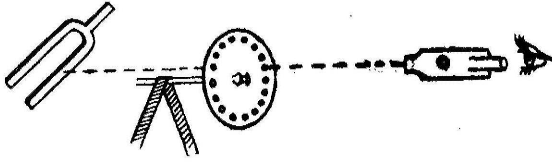
ஒரு பொருள், ஒரு கால நிர்ணயத்தில் இயங்குவதாகக் கொள்வோம். அது ஒரே திசையில் ஒரே இடத்தைக் கடக்கும்; அடுத்தடுத்த வேளைகளில் ஒளியூட்டப்பட்டால் நிலைத்திருப்பதைப் போல் தோன்றும். இம் மாதிரியான விளைவைக் கொடுக்கும் அமைப்பு ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் எனப்படும்.

ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் விளைவைப் பின்வரும் முறைகளில் உண்டாக்கலாம்:

(அ) பொருளுக்கும் கண்ணிற்கும் இடையில் ஒளியைத் தடுத்து விடுதல்.

(ஆ) ஒளி மூலத்திற்கும் பொருளுக்கும் இடையில் தடுத்தல்.

(இ) ஒளி மூலத்தையே தடுத்தல்.



படம் 64

விளிம்போரமாகச் சம தூரங்களில் துவாரங்கள் கொண்ட ஒரு வட்ட உலோகத் தட்டு ஒரு மோட்டாரின் தண்டில் பொருத் தப்பட்டுச் சீராகச் சுழற்படும். மோட்டாரின் வேகத்தைத் தொடர்ந்து மாற்றி வேண்டுமான அளவில் நிலையாக வைக்கலாம். அதிர்வெண் கண்டுபிடிக்க வேண்டிய இசைக்கவையை இயக்கிச் சுழலும் தட்டின் முன் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதிரும் இசைக் கவையின்மேல் ஒளியைப் பாய்ச்சித் தட்டின் ஒரு துவாரத்தின் மூலம் நோக்கப்படுகின்றது. கவைமுள் கண்ணுக்குப் புலப் படும்போது இசைக்கவை அதன் அலைவின் கடைசி இடத்தில்

இருப்பதாகக் கொள்வோம். இசைக்கவை ஓர் அலைவை முடிக்கும் நேரத்தில் தட்டின் ஒரு துவாரம் இருந்த இடத்தில் அடுத்த துவாரம் வருமாறு தட்டின் வேகத்தைச் சரி செய்தால் கவைமுள் அதே இடத்தில் தெரிய, முள் நிலைத்திருப்பதைப் போல் தோன்றும். தகட்டிலுள்ள துவாரங்களை n என்போம். தகட்டின் குறைந்த வேகம் N ஆனால், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $= Nn$ ஆகும்.

தட்டின் ஒரு துவாரம் இருந்த இடத்தில் அடுத்த துவாரம் வரும் அதே நேரத்தில் இசைக்கவை 2,3 அலைகளை முடித்தாலும் இசைக்கவை நிலைத்திருப்பதைப் போல் தோன்றும். இப்போது கவையின் அதிர்வெண் $2Nn$, $3Nn$ ஆகும்.

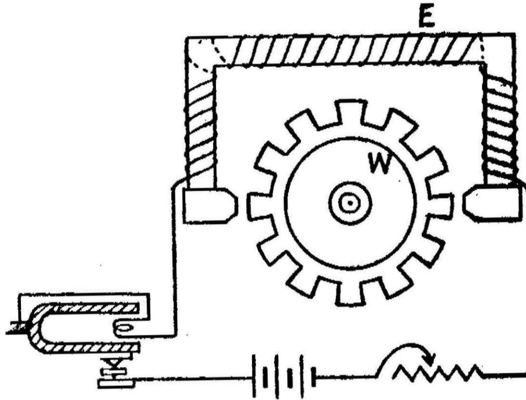
இதே விளைவை மாற்று முறையிலும் பெறலாம். இசைக்கவையின் ஒவ்வொரு முள்ளுடனும் ஒரு மெல்லிய அலுமினியம் தகடு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு தகட்டிலும் ஒரு பிளவு உள்ளது. கவையின் முள்கள் விலகி இருக்கும்போது இப் பிளவுகளின் வழியே ஒளி செல்லும். ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் தட்டில் சம தூரத்தில் புள்ளிகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு தொலைநோக்கியின் உதவி கொண்டு ஒரு புள்ளி, தகடுகளிலுள்ள பிளவுகளின் வழியே நோக்கப்படுகின்றது. இசைக்கவையை அதிர விட்டு, ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் தட்டும் சுழற்றப்படுகின்றது. இசைக்கவை ஓர் அதிர்வை முடிக்கும் அதே நேரத்தில் ஒரு புள்ளி அடுத்த புள்ளியின் இடத்திற்கு நகர்ந்தால், புள்ளிகள் நிலைத்திருப்பதைப் போல் தோன்றும். மோட்டாரின் வேகத்தைச் சிறிது சிறிதாக அதிகரிக்க, ஒருகுறிப்பிட்ட வேகத்தில் புள்ளிகள் நிலைத்து நிற்கும். தட்டில் உள்ள புள்ளிகளின் எண்ணிக்கை n என்போம். தட்டு விநாடிக்கு N முறை சுற்றினால் இசைக்கவையின் அதிர்வெண் Nn ஆகும்.

ஃபோனிக் சக்கரம் (Phonic Wheel)

ஒரு பளுவான இரும்புப் பற்சக்கரம் (W) ஒரு மின்காந்தத்தின் (E) முனைகளுக்கிடையில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்காந்தத்தின் முனைகளும் சக்கரத்தின் பற்களும் ஒரே அளவுள்ளவையாகச் செதுக்கப்பட்டுள்ளன. பற்சக்கரம் தன் தளத்திலேயே ஒரு கிடைமட்ட அச்சில் சுழலும் தன்மையுடையது. சக்கரத்தின் சுழலச்சும், காந்த முனைகளை இணைக்கும் நேர்க்கோடும் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக இருக்குமாறு சரி செய்யப்பட்டுள்ளன.

ஒரு மின்னிசைக்கவை, மின்கலம், சாவி முதலியன மின்காந்தத்தின் சுருளுடன் தொடர்பாக இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

இசைக்கவையை இயக்கி, பற்சக்கரத்தை மெதுவாகச் சுழற்ற வேண்டும். இசைக்கவையின் மின்சுற்று மூடப்பட்டால், மின் காந்தம் இயக்கம் பெற்று அதன் முனைகள் சக்கரத்தின் பற்களை இழுக்கும். சக்கரம் கணத் தாக்குக்குள்ளாகும். மின்சுற்று அறுக்கப்பட்டால் மின்காந்தம் இயங்காது. ஆனால் சக்கரம் கணத்தாக்கு விசைக்குள்ளானதால், அத் திசையில் தொடர்ந்து சுழலும். திரும்பவும் மின்சுற்று மூடப்பட மின்காந்தம் இயக்கம் பெற்றுப் பற்கள் மீண்டும் இழுக்கப்படும். இவ்வாறாக மின் சுற்று மூடப்படும்பொழுதும் அறுக்கப்படும்பொழுதும் மின் காந்தம் முறையே காந்தமூட்டலும் காந்தமிழத்தலும் பெறப் பற் சக்கரம் ஈர்க்கப்பட்டு விடப்படும். சிறிது நேரத்திற்கெல்லாம் சக்கரம் சீரான வேகத்தில் சுழன்று செல்லும். குறைவான வேகத்தில் சக்கரம் சுழன்றுகொண்டிருக்கும்போது சக்கரத் தின் வேகம் N என்போம். சக்கரத்தில் n பற்கள் இருக்குமானால், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் Nn ஆகும்.



படம் 65

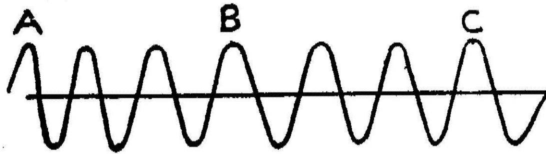
ஒவ்வொரு பல்லும் மின்காந்த முனையால் ஈர்க்கப்படும் போது சக்கரம் தொடர்ந்து சுழலும். அடுத்தடுத்த பற்களையும் மின்காந்த முனை ஈர்க்க நேரிடலாம். அப்போது சக்கரத்தில் சுழல் வேகம் இரட்டிக்கும். பொதுவாக, சக்கரத்தின் வேகம் அதன் குறைந்த வேகத்தின் (N) முழு எண் மடங்கில் இருக்கும் பொழுது சக்கரம் சீராகச் சுழலும். இம் முறை அதிக அதிர் வெண்ணுடைய இசைக்கவைகளுக்குத்தான் பயன்படும். ஒரு சுழற்சி எண்ணிக்கையை (revolution counter) சக்கரத்தில் இணைத்து அதன் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

விழும் தட்டு (Fall Plate)

இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண்ணைச் சோதனைச்சாலைகளில் விழும் தட்டு முறையில் எளிதில் காணலாம். ஒரு செங்குத்தான மரச்சட்டத்தின் இரு விளிம்புகளிலும் உள்ள காடிகளின் வழியே ஒரு செவ்வகக் கண்ணாடித்தட்டு நழுவி விழும் தன்மையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. கண்ணாடித்தகடு புகை பிடிக்கப் பட்டுச் சட்டத்தில் தூக்கி நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. அதிர்வெண் காண வேண்டிய இசைக்கவை கண்ணாடித்தகட்டின் முன்னால் குறுக்காகத் துடிக்கும் வகையில் தாங்கப்பட்டுள்ளது. இசைக் கவையின் ஒரு புயத்தில் ஒரு சிறு மெல்லிய எழுத்தாணி, கண்ணாடியின் அடிமட்டத்தைத் தொடுமாறு இணைக்கப்பட் டுள்ளது. இசைக்கவையை அதிரவிட்டால் எழுத்தாணி புகை யிடப்பட்ட கண்ணாடியின்மேல் கோடிடும்.

இசைக்கவையை இயக்கிவிட்டு அதே சமயம் கண்ணாடித் தகட்டைக் கீழே நழுவி விழச் செய்தால், படத்தில் காட்டியுள்ள படி புகைக்கண்ணாடியின்மேல் ஓர் அலைக்கிரலை எழுத்தாணி வரையும். அலைக்கிரலின் தெளிவான பகுதியில் ஒரு முகட்டில் (crest) A என்னும் குறியிட்டு, N அலைகள் தாண்டி முகட்டில் B என்னும் குறியிடவும். இது போல் N அலைகள் தாண்டி, C,D என்று முகடுகளில் குறிக்கவும். AB, BC இவற்றின் நீளங்களை s_1, s_2 என்று அளவிடவும் (ஒரே நேரத்தில் அலைகள் செல்லும் தொலைவு).

கண்ணாடித்தகடு A,B என்னுமிடங்களிலிருக்கும்போது அதன் வேகத்தை U_1, U_2 எனவும், இத் தூரத்தைக் கடக்கும் நேரம் 't' எனவும் எடுத்துக்கொண்டால்,



படம் 66

$u_2 = u_1 + gt$ ஆகும்...(1)

இசைக்கவையின் அலைவு நேரம் 'T' என்றால், 't' நேரத்தில் N அலைகள் வரையப்படுவதால், $t = NT$ ஆகும்.

$$\text{ஆகையால் } u_2 = u_1 + g\,(NT) \ldots (2)$$

$$\text{மேலும் } s_1 = u_1 t + \tfrac{1}{2}gt^2$$

$$\text{ஆகையால் } s_1 = u_1 (NT) + \tfrac{1}{2}g (NT)^2 \ldots(3)$$

$$\text{இது போலவே } s_2 = u_2 (NT) + \tfrac{1}{2}gN^2T^2$$

$$= (u_1+gNT)\, NT + \tfrac{1}{2}gN^2T^2$$

$$= u_1\, NT + gN^2\, T^2 + \tfrac{1}{2}gN^2\, T^2$$

$$= u_1\, NT + 3/2gN^2T^2$$

$$\text{ஆகையால், } s_2 - s_1 = u_1\, NT + 3/2gN^2T^2 - u_1NT - \tfrac{1}{2}gN^2T^2$$

$$= gN^2T^2$$

$$\text{எனவே } T^2 = \frac{s_2 - s_1}{gN^2}$$

$$\text{அல்லது } T = \frac{1}{N}\sqrt{\frac{s_2 - s_1}{g}}$$

$$\text{ஆகையால் } n = N\sqrt{\frac{g}{s_2 - s_1}} \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறாக இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் காணலாம்.

சோனாமீட்டர் முறை

கம்பிகளும் நிலை அலைகளும் என்னும் தலைப்பில், கம்பியில் குறுக்கதிர்வுகளின் விதிகளை மெய்ப்பிக்கச் சோனாமீட்டர் என்னும் கருவியைப் பயன்படுத்தினோம். அந்த சோனாமீட்டரைக்கொண்டு இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டு பிடிக்கலாம்.

சோனாமீட்டரில் ஏதாவது ஒரு கம்பியைப் பயன்படுத்தி இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் காணலாம். ஓர் எஃகுக் (Steel) கம்பியைச் சோனாமீட்டரின் முனையில் பிணைத்து, அதை இரண்டு அசையாக் குதிரைகளின்மீது செலுத்தி, கம்பியில் தொங்கவிட்டு, கம்பியின் மறுமுனையில் தெரிந்த எடைக்கல்லை (3000 கிராம்) தொங்க விடவும். கம்பியின்மேல் குதிரைகளுக் கிடையில் ஓர் ஏறியை வைக்கவும். அதிர்வெண் கண்டுபிடிக்க வேண்டிய இசைக்கவையை இயக்கி, சோனாமீட்டர் பெட்டியின் மீது . வைத்தால் கம்பி அதிரும். கம்பியை மீட்டி நகரும் குதிரையை நகர்த்தி அதிரும் கம்பியின் நீளத்தை மாற்றி கம்பியும் இசைக்கவையும் ஒத்திசைக்குமாறு செய்ய வேண்டும். அதிரும் கம்பித்துண்டின் நீளத்தை (l_1) அளந்துகொள்ள வேண்டும்.

பின், கம்பியின் இழுவிசையை (3500 கி., 4000 கி., 4500 கி., 5000 கி.) மாற்றி ஒவ்வொரு முறையும் இசைக்கவையுடன் ஒத்திசைக்கும் கம்பியின் நீளத்தை (l_2, l_3, l_4, l_5) அளந்துகொள்ள வேண்டும். அளவீடுகளை அட்டவணைப்படுத்தி இழுவிசையின் இருமடி மூலத்திற்கும் அதிரும் கம்பியின் நீளத்திற்கும் உள்ள விகிதத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். இவ் விகிதத்தை $\sqrt{M}/l$ வரைபடம் வரைந்தும் கண்டுபிடிக்கலாம். கம்பியின் நீளத்தை (l) – x அச்சிலும், $\sqrt{M}$-ஐ – Y அச்சிலும் எடுத்து வரைகோடு வரைந்தால், ஒரு நேர்க்கோடு கிடைக்கும். இவ் வரைகோட்டின் வாட்டம் (Gradient) $\frac{OB}{OA}$ அட்டவணையின் கடைசி வரிசையில் கண்ட $\sqrt{M}/l$-ன் மதிப்புக்குச் சமமாக இருக்கும்.

சோனுமீட்டர் கம்பியின் ஆரத்தைத் திருகுமானிகொண்டு துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். கம்பியின் அடர்த்தி d ஆனால், அதன் நெடுக்கை அடர்த்தியை $m = \pi r^2 d$ எனக் கணக்கிட வேண்டும். (1 அல்லது 2 மீட்டர் கம்பியின் நிறையைக் கண்டும் நெடுக்கை அடர்த்தியைக் கணக்கிடலாம்.) இசைக்கவையின் அதிர்வெண் கம்பியின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமம்.

$$\text{அதாவது } n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

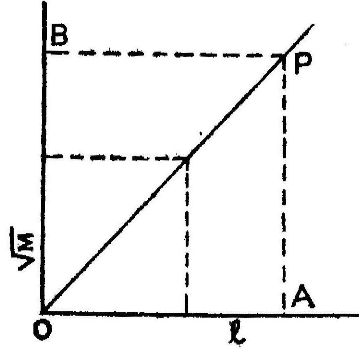
$$= \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{m}}\left(\frac{\sqrt{M}}{l}\right)$$

எண்	இழுவிசை M கி.	ஒத்திசையும் நீளம் l செ. மீ.	$\sqrt{M}$	$\sqrt{M}/l$

சராசரி =

அட்டவணையினின்று $\frac{\sqrt{M}}{l}$ -ன் சராசரி அளவை எடுத்துக் கொண்டு இச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம். இப் பரிசோதனையைக் கொண்டு ஒரு பொருளின் எடையையும் கண்டுபிடிக்கலாம்.



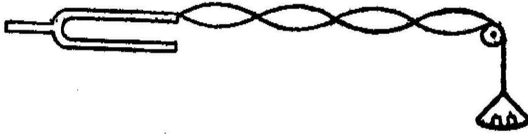
படம் 67

மெல்டே இழை (Melde's String)

மெல்டே இழையைப் பயன்படுத்தி இசைக்கவை அல்லது அதிரும் தண்டின் அதிர்வெண்ணைக் காணலாம். இம்முறை, குறைந்த அதிர்வெண்களைக் காண ஏற்றது.

குறுக்கலைவு முறை (Transverse Mode)

மின்விசையால் அதிர்வுறும் இசைக்கவையின் ஒரு முள்ளின் நுனியில் ஒரு மெல்லிய நூலைக் கட்டி, அதை முள்ளுக்கு இணையாக எடுத்துச் சென்று ஓர் உராய்வற்ற கப்பியின்மீது செலுத்தி, நூலின் மறுமுனையில் ஓர் எடைத்தட்டைத் தொங்க விட வேண்டும். எடைத்தட்டில் சிறிது எடையை வைத்து, அதை இழுவிசையில் இருக்கச்செய்து இசைக்கவையை இயக்கி விட்டால் நூலும் அலைவுறும். தட்டில் உள்ள எடையையோ அல்லது நூலின் நீளத்தையோ சிறிது மாற்றிச் சரிசெய்ய, நூலில்



படம் 68 (குறுக்கலைவு)

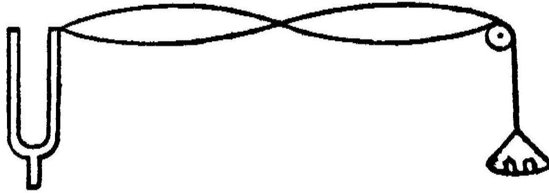
நிலையலைகள் உண்டாகி நூல் பல வளையங்களாகத் தெளிவாகப் பிரிந்து அதிரும். வளையத்தின் (loop) நீளத்தைச் (l) சரியாக அளந்துகொள்ள வேண்டும். நூலின் இழுவிசையை (T), எடைத் தட்டுடன் அதிலுள்ள எடையையும் சேர்த்து எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். 10 மீட்டர் நீளமுள்ள நூலின் எடையைத் துல்லிய

மாகக் கண்டு, நூலின் நெடுக்கை அடர்த்தியை (m) கணக்கிட்டுக் கொள்ள வேண்டும். நூலின் அதிர்வெண்

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

நூலின் அதிர்வெண்ணும் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணும் சமம். ஆகையால், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ஆகும். இதனின்று இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

நெட்டலைவு முறை (Longitudinal Mode)



படம் 69 (நெட்டலைவு)

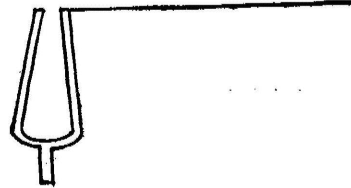
இசைக்கவையைத் திருப்பி அதன் முள் நூலுக்குக் குத்தாய் இருக்குமாறு செய்யவும். இசைக்கவையை இயக்கினால், அதன் துடிப்பு நூலின் திசையிலேயே இருக்கும். நூலில் நிலையலைகள் உண்டாகும். குறுக்கலைவிலிருந்த அதே நீளமும், பளுவும் இப் போதும் இருந்தால், இப்போது காணப்படும் வளையங்கள் முன் பிருந்த எண்ணிக்கையில் பாதியாக இருக்கும். எனவே, இசைக் கவையின் அதிர்வெண், நூலின் அதிர்வெண்ணைப்போல் இரு மடங்காகும். இதைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம்:

ஓர் ஆரம்ப நிலையில் இசைக்கவையின் முள்கள் விலகியிருப் பதாயும், அப்போது நூல் கீழ் வளைந்து தொய்வு நிலையிலிருப்ப தாயும் எடுத்துக்கொள்வோம் (படம் 70-i). முள்கள் ஒன்றை யொன்று நோக்கி நகரும்போது நூல் மேல்நோக்கி நகர்ந்து முள்கள் அருகு நிலையை அடையும்போது நூல் இயற்கையான இடத்தில் பளுவு நிலையில் நிற்கும் (படம் 70-ii). இப்போது இசைக் கவை பாதி அலைவை முடிக்கின்றது. பிறகு முள்கள் விலகும் போது நிலைமத்தினால் நூல் மேல்நோக்கி நகர்ந்து, முள்கள் முழு வதும் விலகி இருக்கும்போது நூல் வளைந்து உப்பல் நிலையை அடையும். இப்போது இசைக்கவை ஓர் அலைவை முடித்து

நிற்கும். ஆனால் இந் நேரத்தில் நூல் பாதி அலைவைத்தான் முடிக்கின்றது. அதாவது. இசைக்கவை ஓர் அலைவை முடிக்கும்



படம் 70 (i)



படம் 70 (ii)

அதே நேரத்தில் நூல் பாதி அலைவைத்தான் முடிக்கின்றது ஆகையால், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் நூலின் அதிர்வெண்ணைப்போல் இரு மடங்காகும்.

$$\text{நூலின் அதிர்வெண் } n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

ஆகையால் இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $N = 2n$

$$\text{அதாவது } N = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}} \text{ ஆகும்.}$$

வளையத்தின் நீளம் l-ஐ அளந்து, T, m இவற்றைத் தெரிந்து அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

மெல்டே இழையைப் பயன்படுத்தி ஒரு பொருளின் எடை, திட, திரவப் பொருள்களின் ஒப்படர்த்தி இவற்றைக் கண்டு பிடிக்கலாம்.

எடைத்தட்டில் தெரிந்த பல எடைகளை வைத்துச் சோதனையைச் செய்து $\sqrt{\frac{m}{l}}$-ன் சராசரி மதிப்பை முதலில் கண்டுகொள்ள வேண்டும். எடை கண்டு பிடிக்க வேண்டிய பொருளை எடைத்தட்டில் வைத்துச் சோதனையைச் செய்து நூல் வளையத்தின் நீளத்தைக் கண்டு பிடிக்க வேண்டும். $\sqrt{\frac{M}{l}}$ -ன் மதிப்பிலிருந்து இந்த நீளத்திற்கேற்ற எடையைக் கணக்கிடலாம். கிடைக்கும் விடையிலிருந்து எடைத்தட்டின் எடையைக்

கழித்துப் பொருளின் எடையைப் பெறலாம். காற்றில் அப் பொருளின் நிறையை M_1 என்போம். அதே பொருளை எடைத் தட்டினின்று தொங்கவிட்டு, அது நீரிலும், ஒரு திரவத்திலும் அமிழ்ந்திருக்கும்போது அதன் எடையைக் கண்டுபிடித்து, பொருளின் ஒப்படர்த்தி, திரவத்தின் ஒப்படர்த்தி இவற்றைக் காணலாம்.

காற்றில் பொருளின் நிறை $= M_1$

நீரில் பொருளின் நிறை $= M_2$

திரவத்தில் பொருளின் நிறை $= M_3$

பொருள் நீரில் இழந்த நிறை $= M_1 - M_2$

எனவே, பொருளின் ஒப்படர்த்தி $= \dfrac{M_1}{M_1 - M_2}$

பொருள் திரவத்தில் இழந்த நிறை $= M_1 - M_3$

திரவத்தின் ஒப்படர்த்தி $= \dfrac{M_1 - M_3}{M_1 - M_2}$

$\dfrac{\sqrt{m}}{l}$ ஒரு மாறிலி என்பதை அறிவோம்.

எனவே $M \propto l^2$ ஆகும்.

ஆகையால் பொருள், காற்று, நீர், திரவம் இவற்றிலிருக்கும் போது ஒரு வளையத்தின் நீளம் முறையே l_1, l_2, l_3 ஆனால்,

திரவத்தின் ஒப்படர்த்தியை $= \dfrac{l_1^2 - l_3^2}{l_1^2 - l_2^2}$ என்னும்

சமன்பாட்டிலிருந்தும் கணக்கிடலாம்.

ஒலிச்செறிவைக் காணல்

மனிதனின் செவி மிகவும் துல்லியமான உணர்வு கொண்டது. செவியில் புகும் ஒலி, அதில் உணர்வை உண்டாக்க ஓரளவு செறிவும், அதிர்வெண்ணும் கொண்டிருக்க வேண்டும். எனவே, செவியின் உணர்வு எல்லைகள் ஒலியின் செறிவைக் கொண்டு தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. ஒலிச்செறிவை அளக்கும் முறைகளைப்பற்றிப் பார்க்குமுன் செவியுணர் ஒலிச்செறிவின் எல்லைகளைக் காண்போம்.

செவியுணர் ஒலிச்செறிவின் சிறுமம் $1{\cdot}13 \times 10^{-9}$ வாட்/ச.செ.மீ. என்றும், செவி தாங்கக்கூடிய ஒலிச்செறிவின் பெருமம் 94×10^{-6} வாட்/ச.செ.மீ. என்றும் செவியுணர் ஒலிச்செறிவின் எல்லைகள் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன.

செவியுணர் ஒலிச்செறிவின் சிறுமம் (Minimum Audible Intensity)

ஒலி அலையின் வீச்சையும் ஒலியின் செறிவையும் சுலபமான முறையில் ராலே கண்டுபிடித்தார். 2730 அதிர்வெண் உடைய ஒலிச் சுரத்தில் ஓர் ஊதல் சீராக ஊதப்பட்டது. 9·5 செ.மீ. நீர் அழுத்தத்தில் அது ஊதப்பட்டபோது அதனின்று வெளிவந்த காற்றின் அளவு வினாடிக்கு 196 க.செ.மீ. ஆகும்.

எனவே, ஒரு வினாடியில் செலவழிக்கப்பட்ட ஆற்றல்

$$= 196 \times 9{\cdot}5 \times 981$$

$$= 1{\cdot}8 \times 10^{6} \text{ எர்க்குகள்}$$

இவ்வாற்றல் முழுதும் ஒலி எழுப்பப் பயன்பட்டதாகக் கொள்வோம். இவ்வொலி 820 மீட்டர் ஆரமுள்ள அரைக்கோளப் பரப்பில் செல்கின்றது. எனவே, ஒரு வினாடியில் ஓர் அலகு பரப்பு வழியே செல்லும் ஆற்றல் $= \dfrac{1{\cdot}8 \times 10^{6}}{2\pi\,(82000)^{2}} = 4{\cdot}26 \times 10^{-5}$ எர்க்குகள்

இதுவே வட்டத்தின் பரப்பிலேற்படும் ஆற்றலோட்டம் (energy current) ஆகும்.

ρ, a, ω, c முதலியன காற்றின் அடர்த்தி, அலையின் வீச்சு, கோணத் திசை வேகம், ஒலியின் வேகம் என்றால், ஆற்றலோட்டத்தின் மதிப்பு $= \frac{1}{2}\rho a^{2}\omega^{2}c$ ஆகும்.

$$\rho = 0{\cdot}0013 \text{ கி./க. செ.மீ.}$$

$$\omega = 2\pi n = 2\pi \times 2730$$

$$c = 33100 \text{ செ.மீ./வினாடி}$$

ஆகையால் $\frac{1}{2}\rho a^{2}\omega^{2}c = 4{\cdot}26 \times 10^{-5}$ ஆகும்.

$$\text{எனவே } a = \sqrt{\frac{2 \times 4{\cdot}26 \times 10^{-5}}{\rho\omega^{2}c}} \text{ செ.மீ.}$$

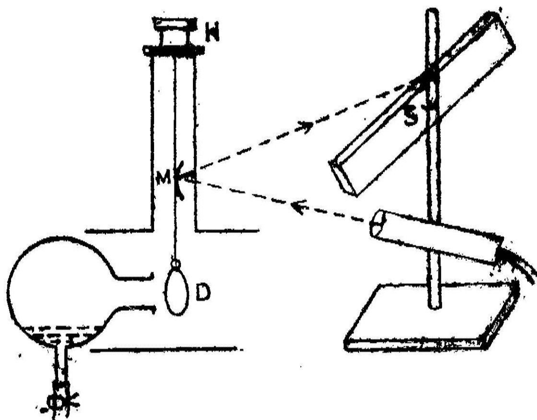
இந்த அலைவீச்சின் மதிப்பிலிருந்து ஒலியின் செறிவைக் கணக்கிடலாம்.

ஒலிச்செறிவை அளத்தல்—ராலேயின் வட்டு முறை

ஒரு மெல்லிய வட்டமான தட்டைக் காற்றோட்டத்தில் தொங்கவிட்டால், காற்றின் திசைக்குச் செங்குத்தாகத் திரும்பி நிற்கத் தட்டு முயலும். இத் தத்துவத்தில் ராலே முறை செயல்படுகின்றது.

இக் கருவியில் ஒரு செ.மீ. ஆரமுள்ள ஒரு மைக்கா வட்டு D குவார்ட்ஸ் இழையால் முறுக்கு முகட்டிலிருந்து (H) ஒரு குழாயினுள் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. ஒரு ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவியின் வாயினருகில் இருக்குமாறு வட்டு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. வட்டு தொங்கும் இழையில் ஒரு குழி ஆடி (M) ஒட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு விளக்கினின்றி வரும் ஒளிக்கதிர் ஆடியில் எதிரொளிப்புற்று S என்னும் அளவுகோலில் படுகின்றது. இந்த அமைப்பைக்கொண்டு ஒத்திசைவி எழுப்பும் ஒலியின் செறிவை அளக்கலாம்.

ஒத்திசைவியின் வாயிலுள்ள காற்று இயக்கப் பெறுகின்றது. அருவிக்கோட்டியக்கம் ஏற்பட்டு, வட்டு ஓர் இரட்டைக்குள்ளாகின்றது. ρ, a, v இவை முறையே வட்டுக்கருகேயுள்ள காற்றின் அடர்த்தி, ஒலியின் வீச்சு, காற்றோட்டத்தின் திசை, வேக சராசரி இருமடியின் இருமடிமூலம் எனக்கொண்டு, கோனிங் என்பவர் வட்டில் செயல்பட்ட இரட்டையை $C = 4/3\ \rho\ a^3 v^2 \sin\ 2\theta$ எனக் கணித்துள்ளார். வட்டுக்கும் கலக்கப்படாத ஒலி பரவும் திசைக்கும் இடையேயுள்ள கோணம் θ ஆகும். கோணம் 45° ஆக இருக்கும்போது இரட்டைபெருமநிலையையடையும். ஆகையால், $2\theta = 90°$. எனவே, $C = 4/3\ \rho a^3 v^2$ ஆகும். இரட்டையின் மதிப்பைத் தெரிந்து a-ன் மதிப்பைக்



படம் 71

கணக்கிடலாம். இதிலிருந்து ஒலியின் செறிவையும் அறியலாம். இந்த எளிய முறையில் பல மாற்றங்கள் செய்துள்ளனர்.

இதுவே ஒலிச்செறிவைக் கண்டுபிடிக்கும் ஒரு சார்பிலா முறையாகும்.

வெப்பக் கம்பி மைக்ரோஃபோன் (Hot-wire Microphone)

ஓர் ஒத்ததிர்வியின் கழுத்தில் பிளாட்டினம் கம்பியிலான கிரிட் பொருத்தப்பட்டுச் சிவப்பாகப் பழுக்குமளவில் மின்னோட்டத்தினால் சூடேற்றப்பட்டுள்ளது. ஒத்ததிர்வியின் கழுத்திலுள்ள காற்று அலைவுறும்போது, கம்பியின் மின்தடை அலைவுப் பாங்கில் சீராகக் குறையும். மின்தடையின் சீரான குறைவு, காற்றுத் துகளின் திசைவேகத்தின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். அதாவது, மின்தடையின் அலைவு மாற்றம் துகளின் திசைவேகத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்போது மின்தடையின் குறைவு ஒலிச்செறிவுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். இதில் ஏதாவதொன்றைக் கண்டுபிடித்து ஒலிச்செறிவைக் கணக்கிடலாம்.

உதாரணங்கள்

1. இயக்கப்பட்ட இசைக்கவையொன்று சுழலும் உருளையில் ஒட்டப்பட்ட காகிதத்தில் 5 செ.மீ. நீளத்தில் 30 அலைகளை வரைகின்றது; ஒரு விநாடி ஊசல் 25 செ.மீ. இடைவெளியில் குறிகளை இடுகின்றது. இசைக் கவையின் அதிர்வெண்ணைக் காண்க:

5 செ.மீ.-ல் உள்ள அலைகள் $= 30$

$\therefore$ 1 செ.மீ.-ல் உள்ள அலைகள் $= \frac{30}{5} = 6$

எனவே, 25 செ.மீ.-ல் கிடைக்கும் அலைகள் $= 6 \times 25$

$= 150.$

இதுவே ஒரு விநாடியில் நிகழும் அதிர்வுகள்.

ஆகையால், கவையின் அதிர்வெண் $= 150$ ஹெர்ட்ஸ்

2. அதிரும் இசைக் கவை விநாடிக்கு 30 முறை சுழலும் ஸ்ட்ரொபாஸ்கோபின் துளை வழியே பார்க்கப்படும்பொழுது நிலைத்திருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் தட்டில் 20 துவாரங்கள் இருப்பின், இசைக் கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடுக:

ஒரு விநாடியில் சுழலும் எண் $= N = 10$

துவாரங்களின் எண்ணிக்கை $= n = 20$

எனவே, இசைக் கவையின் அதிர்வெண் $= N n$

$= 10 \times 20$

$= 200$

இசைக்கவையின் அதிர்வெண் = 200 ஹெர்ட்ஸ்

3. ஒரு போனிக் சக்கரத்தில் 24 பற்களுள்ளன. ஓர் இசைக் கவையால் தடைசெய்யப்படும் மின்னோட்டம் சக்கரத்தின் மின் காந்தச் சுருள்களில் பாயும்பொழுது, சக்கரம் நிமிடத்தில் 300 முறை சுழல்கின்றது. அப்படியானால் இசைக் கவையின் அதிர் வெண்ணைக் காண்க:

ஒரு விநாடியில் ஏற்படும் சுழற்சிகள் $= \frac{300}{60} = 5$

∴ ஒரு விநாடியில் நகரும் பற்கள் $= 24 \times 5$

$= 120$

எனவே, இசைக் கவையின் அதிர்வெண் = 120 ஹெர்ட்ஸ்

4. ஒரு முனையில் மூடிய குறுகிய குழாயிலுள்ள 1 மீட்டர் நீள வாயுத்தம்பம் ஓர் இசைக் கவையுடன் ஒத்திசைகிறது. 1·2 மீட்டர் நீளமுள்ள திறந்த குழாயிலுள்ள காற்றுத்தம்பம் அதே இசைக் கவையுடன் ஒத்திசைகிறது. காற்றில் ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 333 மீட்டர்களானால், வாயுவில் ஒலியின் வேகத்தைக் காண்க.

குறுகிய குழாயானதால், முனைத் திருத்தத்தைத் தள்ளி விடலாம்.

வாயுவில் அலை நீளம் $= 4 \times 1{\cdot}0 = 4$ மீட்டர்

காற்றில் அலை நீளம் $= 2 \times 1{\cdot}2 = 2{\cdot}4$ மீட்டர்

அதிர்வெண் $= \frac{\text{ஒலி வேகம்}}{\text{அலை நீளம்}}$

$= \frac{333}{2{\cdot}4}$

வாயுவில் ஒலி வேகம் V மீட்டர் ஆக இருக்கட்டும்.

$$\therefore \frac{V}{4} = \frac{333}{2{\cdot}4}$$

$$\therefore V = \frac{333}{2{\cdot}4} \times 4$$

$$= 555{\cdot}0$$

வாயுவில் ஒலி வேகம் = 555 மீட்டர்/விநாடி.

வினாக்கள்

1. குண்ட் குழாயைக் கொண்டு வாயுவில் ஒலி வேகத்தைக் காணும் முறையை விளக்குக.

2. இசைக் கவையின் அதிர்வெண்ணைக்காண இரு சார்பிலா முறைகளை விவரிக்க.

3. சுருதி மிக்க ஒலிகளின் அதிர்வெண்ணை எவ்வாறு கண்டு பிடிக்கலாம் ?

4. ஒலியின் செறிவை அளக்க ராலேயின் வட்டு எவ்வாறு பயன்படுத்தப்படுகின்றது ?

5. விழும் தட்டு முறையில் ஓர் இசைக் கவையின் அதிர் வெண்ணை எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கலாம் ?

6. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குக் குறிப்பு வரைக :

   (i) காக்னியார்ட் டிலா டூர்,

   (ii) சாவர்ட் சக்கரம்,

   (iii) செவியின் கேள்திறன் எல்லை,

   (iv) மெல்டே இழை,

   (v) ஒன்றிப்பு முறை.

9. இசை ஒலியும் இசைக் கருவிகளும்

இசை ஒலிகள்

இசையும் இரைச்சலும் (Music and Noise)

ஒலியை இசையொலி, இரைச்சல் என இரு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். இசையொலி தொடர்ச்சியாகவும், தெளிவாகவும், இனிமையாகவும் இருக்கும். இரைச்சலின் பகுப்புகளெல்லாம் கட்டையாகவும், தெளிவின்றியும், வெறுப்பூட்டக்கூடியவையா யும் இருக்கும். உரத்த கூச்சல், இடி ஒலி, வண்டிகளின் கட கட ஒலி யாவும் இரைச்சலில் அடங்கும். ஓர் இசைத்தொனியைப் பகுப்பாய்வு செய்தால், அதில் பல தனித்த இசைச் சுருதி களிருப்பதைக் காணலாம். சில இயற்பியலான அளவுகளின் மூலம் இசைச்சுரங்களைத் தீர்மானிக்கலாம். அதனால் எந்த இடத்திலும், எந்த நேரத்திலும், எவரும் இசையொலியைத் திரும்ப எழுப்பலாம். இரைச்சலை அளப்பதற்கு வழிகள் இருந்த போதிலும் அவற்றிற்குக் குறிப்பிட்ட பண்புகள் கிடையாது.

இசையொலியின் பண்புகள் (Characteristics of a Musical Note)

இசை ஒலிக்கு மூன்று முக்கிய பண்புகள் உள்ளன; அவை சுருதி (Pitch), செறிவு (Intensity), சுரப்பண்பு அல்லது டிம்பர் (Quality or Timbre) முதலியவை ஆகும்.

சுருதி, ஒலியின் அதிர்வெண்ணைப் பொருத்திருக்கும். குரல் கூரியதாக இருப்பதற்கும், தட்டையாக அரைதொனியுடனிருப் பதற்கும் சுருதிதான் காரணம். சுருதி அதிகமாக இருப்பின் ஒலி கூர்மையாகவும், குறைவாக இருப்பின் ஒலி தட்டையாகவும் இருக்கும்.

ஒலியின் செறிவு குரலின் பருமனைக் குறிக்கும். செறிவு குரலெழுப்பும் பொருளின் துடிப்பின் வீச்சைப் பொருத்திருக்கும். அது வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

இசையொலியின் மூன்றாவது பண்பான சுரப்பண்பு மிகவும் முக்கியமான குணமாகும். இரண்டு ஒலிகள் ஒரே சுருதி, ஒரே உரப்பு (Loudness) உள்ளவையானாலும், அவை வெவ்வேறு

இசைகள் என்றறிவதற்குச் சுரப்பண்புதான் உதவுகின்றது. வெவ்வேறு இசைக் கருவிகளினின்று வரும் இசையொலிகளைச் சுலபமாகப் பகுத்தறிய முடிகிறதென்றால், அதற்கு முக்கிய காரணம் ஒவ்வோர் ஒலியின் தனிச் சுரப்பண்புகளேயாகும். ஒலியெழுப்பும் பொருளின் இயல்பு, இயக்கத்தின் முறை, துடிப்பின் வகை இவற்றைப் பொருத்து உள்ளது ஒலியின் சுரப் பண்பு. ஓர் இசைக் கவையின் சுரம் சீரிசைத் தன்மை வாய்ந்தது; ஆனால் துடிக்கும் கம்பி காலக் கட்டமைந்ததாக (periodic) இருந்தபோதிலும் சீரிசைத் தன்மையுடையதன்று. பிடிலின் கம்பி வில்லால் அதிர்விக்கப்படுகிறது (bowed). வீணையின் கம்பியே மீட்டப்படுகிறது (plucked). இதுவும் ஒலியின் சுரப் பண்பு வேறுபாடுகளுக்கு ஒரு முக்கிய காரணமாகும்.

சீரிசைப் பகுப்பாய்வு (Harmonic Analysis)

எந்த ஓர் இசைக் கருவியின் ஒலியிலும் பல சுரங்கள் அடங்கியிருக்கும். அதில் உரத்த குரலில் இருக்கும் சுரத்திற்கு மிகக் குறைந்த அதிர்வெண் இருக்கும். இந்த குறைந்த அதிர்வெண்ணுடைய உரத்த குரலுக்கு மூலச்சுரம் (fundamental) என்று பெயர். அதே ஒலியிலடங்கியுள்ள வேறு அதிர்வெண்ணுடைய மற்ற குரல்களுக்கு மேல் சுரங்கள் (Upper Partial or Overtones) என்று பெயர். மூலச்சுரத்தின் முழு எண் மடங்கிலிருக்கும் சுரங்களைக் கிளைச்சுரங்கள் (harmonics) என்கிறோம்.

ஒலியின் இயற்பியல் பண்புகளையும் அதிர்வுகளையும் ஆய்ந்து காணும் முறை சீரிசைப் பகுப்பாய்வு எனப்படும். முதன்முதலில் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் (Helmholtz) பல பண்புகளுடைய ஒலிகளைப் பகுப்பாய்வு செய்தார். அவர் முறைகளைக் காண்போம்:

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் முறை

ஒலிகளை ஆராய்ந்து அவற்றில் அடங்கிய சுரங்களையும் அவற்றின் பண்புகளையும் காணப் பல ஒத்திசைவுகளை ஒலியின் பாதையில் வைத்தார்; ஒத்திசைவியின் பருமனையும், அவற்றின் கழுத்தின் குறுக்களவையும் தக்கவாறு மாற்றிப் பல சுருதிகளுடன் ஒத்திசைக்குமாறு செய்தார்; ஒத்திசைவுகளைப் பார்க்கும் முறையில் ஒவ்வோர் ஒத்திசைவிக்கும் ஓர் உணர்வு நுட்ப அனலை (Sensitive Flame) வைத்து, அனல் துடிப்புகளிலிருந்து ஒலிக் கூறுகளின் செறிவைக் கண்டார்; ஒத்திசைவிகளின் அளவுகளிலிருந்து கூறுகளின் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிட்டார்; ஒத்திசை

விகளின் அளவுகளை மாற்றிச் சோதனைகளைப் பலமுறை நடத்திக் கிடைக்கும் முடிவுகளை வெளியிட்டார்.

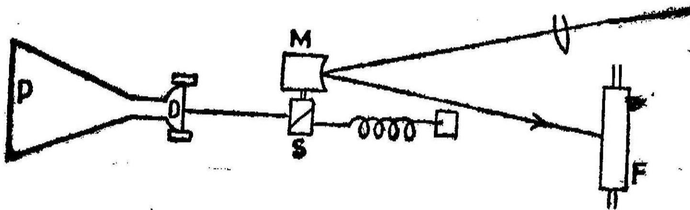
இசையொலியின் பண்புகள் ஒத்திசைக்கும் மேல் சுரங்களின் எண்ணிக்கையையும், அவற்றின் ஒப்பு வலிமையையும் மாத்திரமே பொருத்திருந்தன. அவற்றின் அதிர்வுநிலை வேறுபாடுகளுக்கும், சுரப்பண்புகளுக்கும் எவ்விதத் தொடர்புமில்லை என்றார்; இந்த இரண்டாவது கருத்தைப் பல அறிஞர்கள் ஏற்கவில்லை. எல்லீஸ் (Ellis) என்பவர் கிளைச் சுரங்களின் அதிர்வுநிலை வேறுபாடுகளை முற்றிலும் ஒதுக்கித் தள்ளிவிட முடியாது என ஆதாரங்களுடன் விளக்கினர். மேல் சுரங்களோடு விம்மல் ஓசைகளும் (Beat Tones) சுரப்பண்புகளை ஒரு விதத்தில் பாதிக்கின்றன என்பது தெளிவாயிற்று.

ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு (Fourier Analysis)

ஃபூரியர் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி இசைச்சுரங்களை நுணுக்கமாக ஆராயலாம். இதன்மூலம் சிக்கலான இசையொலியின் அலையுருவம் எளிய அலை உருவங்களின் தொகுப்பாகும் என்று விளக்கலாம். ஒலியின் அலை உருவத்தைப் பதிவு செய்துவிட்டால், அவ்வொலியின் கூறுகளான சுருதிகளையும், அவற்றின் செறிவு, அதிர்வெண் முதலியவற்றையும் நன்கறிந்து கொள்ளலாம். போனோடிக், எதிர்மின்கதிர் அலை வரைவி இவற்றைக்கொண்டு ஒலியின் அலை உருவத்தைப் பதிவு செய்யலாம்.

மில்லரின் போனோடிக் (Miller's Phonodeik)

அதிர்வெண் வேறுபட்டாலும், ஒலிச்செறிவு சமமாக உள்ள இசையொலிகளுக்கு ஒத்திசையும் கருவிகளைக்கொண்டு சிறந்த



படம் 72

முறையில் அலையுருவத்தைப் பதிவு செய்யலாம். இசையொலியைப் பகுப்பாய்வு செய்யப் போனோடோகிராப் என்னும்

கருவியை முதன்முதலில் பயன்படுத்தினர். நம்பத்தகுந்த பலன் தரும் போனோடிக் என்னும் கருவியை மில்லர் உருவாக்கினார்.

இதன் முக்கிய பாகம், பின்புறம் மெல்லிய கண்ணாடித் திரையினால் (Diaphragm) *D* மூடப்பட்ட அகன்ற வாய்கொண்ட *P* என்னும் புனலாகும். இரப்பர் வளையங்களால் கண்ணாடித்திரை பிடிக்கப்பட்டுள்ளது. திரையின் மத்தியில் ஒரு பட்டு நூல் இழை இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த இழை, ஒரு சிறிய எஃகு உருளையில் *(S)* சுற்றப்பட்டு, பிறகு ஒரு வில்லின் உதவியால் ஒரு முனையில் கட்டப்பட்டுள்ளது. உருளையின்மேல் ஒரு சிறு குழியாடி *(M)* பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இக் குழியாடி, ஊசித் துவாரத்திலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிரைப் பிரதிபலித்து நகரும் நிழற்பட ஏட்டில் *(F)* விழுமாறு செய்கிறது.

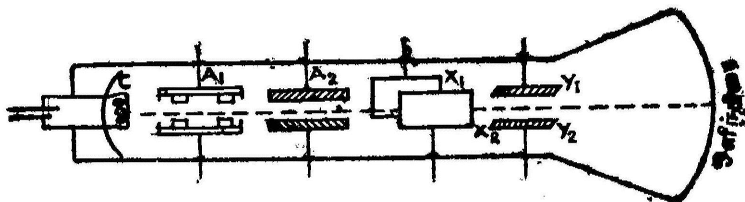
பகுப்பாய்வு செய்யவேண்டிய ஒலியைப் புனலில் வாங்கித் திரையில் விழுமாறு செய்தால், ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் திரை முன்னும் பின்னும் அசைவுறும். அதற்கேற்ப, பட்டு இழையும் முன்னும் பின்னும் இழுக்கப்பெறும். அதனால் உருளையும் அதனுடன் இணைக்கப்பெற்ற குழியாடியும் உருளும். உருளும் ஆடியால் பிரதிபலிக்கப்பட்ட ஒளிக்கதிர் நிழற்பட ஏட்டில் பட்டு, புனலில் நுழைந்த ஒலிக்கேற்ற அலைப்பதிவை ஏற்படுத்தும். திரை, புனல் இவற்றின் இயற்சுருதியும், ஆராயப்படும் ஒலியின் சுருதியும் சமமாக இருப்பின், பலத்த ஒத்திசைவு ஏற்பட்டு அலைப்பதிவு மிகைப்படுத்தப்படும். இதற்கேற்ற திருத்தங்களை மில்லர் செய்தார்.

பேச்சொலியையும், பல இசைக் கருவிகளின் ஒலியையும் இம் முறையில் பதிவுசெய்து, ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு முறையில் அவற்றிலுள்ள பல சுருதிகளை மில்லர் கண்டுபிடித்தார்.

எதிர் மின்கதிர் அலை வரைவி (Cathode Ray Oscillograph)

அலை வரைவி என்பது அலை வடிவங்களை ஒளிப்படமாக்கும் ஒரு கருவி. இக் கருவியில் எலக்ட்ரான் துகள்கள் மின்விசை, காந்த விசை ஆகிய இரு விசைகளுக்கு உட்படுத்தப்படுகின்றன. இவ்விரு விசைகளையும் ஒலி அலைகளால் கட்டுப்படுத்தித் துகளின் அலைவுகளை ஒளிப்படம் எடுத்தால், ஒலியின் அலை உருவம் கிடைக்கும். ஒலியின் அலை வடிவத்தைப் பெற்று இசையொலியைப் பகுப்பாய்வு செய்ய எதிர்மின்கதிர் அலை வரைவி பெரிதும் பயன் படுகின்றது.

இக் கருவியில் எதிர்மின்வாயும் (Cathode) நேர்மின்வாயும் (Anode) கூம்பு வடிவமுள்ள, வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு



படம் 78

கண்ணாடிக் குழாயினுள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. எதிர்மின் வாயினின்று (C) கிளம்பும் எலக்ட்ரான்கள் நேர்மின்வாயின் (A_2) அச்சிலமைந்த சிறு துவாரம் வழியே சென்று, குழாயின் அகன்ற வாயை அடைத்துள்ள ஒளிர் திரையில் (Fluorescent Screen) விழுந்து ஒளிரும் புள்ளியை உண்டாக்கும். (வளமான எலக்ட்ரான் கற்றையைக் கொடுக்கவும், அதைத் திரையில் குவியச் செய்வதற்கும் வேண்டிய அமைப்புகள் கருவியில் உள்ளன.) எலக்ட்ரான் செல்லும் பாதையில் y_1, y_2 என்னும் கிடைமட்ட இணைத்தகடுகளும், X_1, X_2 என்னும் செங்குத்து இணைத்தகடுகளும் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. y_1, y_2 தகடுகளுக் கிடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டினால் ஏற்படும் மின் விசை எலக்ட்ரான்களைச் செங்குத்துத் திசையில் விலக்கும். செங்குத்துத் தகடுகள் எலக்ட்ரான்களைக் கிடைமட்ட திசையில் விலக்கும்.

ஒரே சமயத்தில் இரு ஜோடி தகடுகளுக்கும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டை ஏற்படுத்தினால் எலக்ட்ரான் செங்குத்துத் திசையிலும், கிடைமட்டத் திசையிலும் இழுக்கப்பட்டு, படமொன்றை வரையும். இப் படம் தகடுகளில் செயல்படும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைப் பொருத்திருக்கும்.

பகுப்பாய்வு செய்யவேண்டிய ஒலியின் ஆற்றலை மைக்ரோ போன்மூலம் மின்னாற்றலாக மாற்றி, அம் மின்னாற்றலை Y தகடு களுக்கு ஊட்டினால் எலக்ட்ரான்கள் மேலும் கீழும் இழுபடும். எனவே, திரையில் தோன்றும் ஒளிப்புள்ளி மேலும் கீழும் செங்குத்தான கோடு ஒன்றை வரையும். X ஜோடி தகடுகளுக் கும் வேறுபடும் மின்னழுத்தத்தை ஊட்டினால் ஓர் அலை உருவப் படம் திரையில் வரையப்படும். மைக்ரோபோன் பெறும் ஒலிக்

கேற்பத் திரையில் தோன்றும் வரைபடமும் மாறி மாறிப் புதுப் புது உருவங்களைத் தோற்றுவிக்கும். ஒளிரும் திரைக்கு முன்னால் ஒளிப்படத் தகடொன்றை அவ்விடத்தில் பொருத்தினால், ஒலி அலை உருவப்படம் கிடைக்கும்.

மேற்சொல்லியபடி கிடைக்கப்பெற்ற ஒலி அலை உருவப் படத்தை ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு முறையில் ஆராய்ந்து ஒலியிலடங்கியுள்ள சுருதிகளைக் கணக்கிடலாம்.

விம்மலோசைகள் (Beat Tones)

அதிர்வெண் வேறுபாடுள்ள இரு ஒலி மூலங்களை ஒரே சமயத்தில் இயக்க, அதிர்வெண் வேறுபாடு குறைந்த அளவில் இருந்தால், விம்மல்கள் ஏற்படும் என்பதை முன்பே கண்டோம். அதிர்வெண் வேறுபாடு மிகக் குறைந்த அளவில் இருந்தால் ஒலி வளர்ச்சியும், ஒலித்தேய்வும் தெளிவாகக் கேட்கும். ஒலி வளர்ச்சியும் ஒலித் தேய்வும் விம்மலை அமைக்கும். விம்மல் ஒலி காதுக்கு வெறுப்பைத் தரும். ஆனால், விம்மல் ஒலிக்கு இடையே உள்ள இடைநேரம் அதிகமாய் இருந்து, ஒலி வளர்ச்சியையும், தேய்வையும் கேட்டுப் பழகவேண்டிய நேரமிருந்தால், ஒலி கேட்க வெறுப்பாயிராது. கால இடைவெளி மிகவும் குறைந்து விம்மல்கள் அடிக்கடி உண்டானால் ஒன்றிலிருந்து ஒன்றைப் பிரித்துணர்வது கடினம். அந் நிலையில் விம்மல்கள் இணைந்து ஒரு புது இசையின் பண்பை உண்டாக்கும். இவ்வாறு கிடைக்கும் புதிய ஓசைக்குத்தான் விம்மலொலி (Beat-tone) என்று பெயர்.

விம்மலொலிகள் அக உணர்வுக்கு (Subjective) புலனாவதால், ஊடகப் பொருள் துகள்களின் துடிப்பைக் காண முடியாது. அவற்றிற்குரிய அலை உருவங்களையும் காண முடியாது. கேட்கும் காதை மாத்திரம் இயக்குகின்றன. எனவே, இசைக் கருவிகள் எழுப்பும் இசையின் பண்பைத் தீர்மானிக்க விம்மலோசை பெரிதும் உதவுகின்றது.

கூட்டோசை (Combination Tone)

அதிர்வெண் N_1 N_2 உள்ள இரு தனி ஒலிகள் ஒரே சமயத்தில் காதில் ஒலித்தால் இவ்விரு ஒலிகளுடன் கூட்டாக அவற்றின் அதிர்வெண் சம்பந்தமுடைய வேறு ஒலிகளும் எழுவதுண்டு. இவற்றிற்குக் கூட்டோசை என்று பெயர். இவ்விரு ஒலிகளும் அதிர்வெண்களின் வித்தியாசத்தினால் உள்ள (N_1 NN_2) கூட்டோசையை முதன்முதலில் இத்தாலி நாட்டைச் சேர்ந்த

டார்ட்டினி (Tartini) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். இதனால் அதற்கு டார்ட்டினியின் ஓசை என்று பெயர் வந்தது. இதுவே பகுவோசை (Differential Tone) என அழைக்கப்படுகிறது. இப் பகுவோசை, மூல ஒலிகள் ஒன்றுடன் கூடி இரண்டாவது மூன்றாவது வரிசைப் பகு ஓசைகளையும் எழுப்பலாம்.

முதன்மை ஒலிகளின் அதிர்வெண்ணின் கூட்டுத்தொகையில் ($N_1 + N_2$) உள்ள ஒரு கூட்டோசையை ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் கண்டுபிடித்தார். இதற்கு மிகுவோசை (Summational Tone) என்று பெயர். குறைந்த அதிர்வெண்ணுடைய ஒலிகளின் கூட்டோசைதான் விரும்பத்தக்கதாயிருக்கும்.

காவலர் ஊதலில் பகு ஓசையை மிகத் தெளிவாகக் கேட்கலாம். இவ்வூதலில் ஒரு பக்கம் மூடி, ஒரு பக்கம் திறந்த இரு குழாய்கள் அடங்கியுள்ளன. தனித்தனியே ஊதும்போது, அவற்றின் சுருதி அதிகமாயிருக்கும். அவற்றைச் சேர்த்து இயக்கினால் குறைந்த சுருதியுள்ள பகு ஓசை கேட்கும். அதன் ஒலிச்செறிவு அதிகமாயிருக்கும். இதுவே காவலர் ஊதலின் தனித்தன்மையை எடுத்துக்காட்டும்.

எனவே, N_1 N_2 அதிர்வெண் உடைய இரு தனி அல்லது முதன்மை ஒலிகளை ஒரே சமயத்தில் காதில் ஒலித்தால், இவ்விரு ஒலிகளுடன் N_1NN_2, $2N_1 - N_2$, $2N_2 - N_1$, $N_1 + N_2$ முதலிய கூட்டோசைகளை முதன்மையொலிகளின் எண்மங்களுடன் (Octave) சேர்ந்து கேட்கலாம். இவ்வோசைகளை எழுப்ப 3 விதிகளை அனுசரிக்க வேண்டும்:

(அ) முதன்மையொலிகள் உரத்தும் தொடர்ச்சியாகவும் இருக்கவேண்டும்.

(ஆ) இரண்டும் சம செறிவுள்ள ஒலிகளாய் இருக்க வேண்டும்.

(இ) எந்தக் கூட்டோசையைக் கேட்கவேண்டுமோ, அதனை ஒட்டிய அதிர்வெண்ணுள்ள ஒலியை முதலில் எழுப்ப வேண்டும்.

கேட்போர் காதின் சமச்சீரற்ற தன்மையினால் உண்டாவதால், கூட்டோசைகளுக்கு அக உணர்வு மட்டுந்தான் உண்டென்று கருதப்படுகின்றது. காதின் சவ்வு ஒரு புறம் மட்டும் எடை ஏற்றப்பட்டுள்ளதால், மீள்விசை இடப்பெயர்ச்சியின் நேர்விகிதத்தில் இருப்பதோடல்லாமல் இடப்பெயர்ச்சியின் இருமடி, மும்மடி முதலியவற்றின் நேர் விகிதத்திலுமிருக்கும். சமச்

சீரற்ற நிலையிலுள்ள காதின் சவ்வின்மீது N_1, N_2 என்னும் அதிர்வெண்களுள்ள இரு சீரிசை முதன்மையொலிகளை எழுப் பினால், சவ்விலேற்படும் பல்கூட்டுத் துடிப்பின் உணர்ச்சியால் அந்த முதன்மை ஒலிகளுடன், அவற்றின் சம்பந்தப்பட்ட $N_1 + N_2$, $N_1 NN_2$ முதலிய அதிர்வெண்களுடைய ஒலிகளையும் கேட்க முடிகின்றது என்று ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் நிரூபித் துள்ளார்; இவ்வாறாக எழும் வேறான அதிர்வெண்களுடைய சீரிசையியக்கங்களில் ஒன்று பகுவோசை, மற்றொன்று மிகு வோசை என்று கூறினார்; மேலும், முதன்மையொலிகள் உரப் பாக இல்லாவிடில், பகுவோசைகளும், மிகுவோசைகளும் மிகவும் வலிமை குறைந்திருக்குமென்றும், கேட்க முடியா தென்றும் முடிவாகக் கூறினார்.

வாட்ஸ்மான் (Wattsman) என்பவர் காதின் அமைப்பைப் போன்ற செயற்கை சவ்வை உருவாக்கிச் சோதனைகள் செய்து, பகுவோசை, மிகுவோசை முதலிய கூட்டோசைகள் பலவற்றை விளக்கினார்; ஆனால், ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் கூறியதுபோல் பகுவோசை காதில் கேட்காத வகையில் எப்போதும் வலிமை யற்றிருப்பதில்லை என்றும், அவற்றை எழுப்ப அதிக செறிவுடைய முதன்மையொலிகள் தேவையில்லையென்றும் நிரூபித்தார்.

லாக்ரான்ஞ்சி (Lagrange) என்பவரும், யங் (Young) என்ப வரும், மற்றும் சில அறிஞர்களும், பகுவோசைகள் விம்மல் ஒலிகளே என்னும் கருத்தை வெளியிட்டனர். இக் கருத்து நிராகரிக்கப்பட்டது. ஏனெனில், (அ) இது மீள்வோசைக்கு எந்த விளக்கத்தையும் தரவில்லை; (ஆ) விம்மலோசை அக உணர்வைத்தான் கொடுக்கும்; ஆனால், கூட்டோசை சில சமயம் புற உணர்வையும் தருகின்றது என்று ஹார்மோனிய வாத்தி யத்தைக்கொண்டு நிரூபிக்கலாம்; (இ) கூட்டோசைகள் விம்மலோசைகள்தான் என்றால், எப்போதும் கூட்டோசைகள் கேட்கும்போதெல்லாம் விம்மல் ஒலிகள் கேட்கக் கூடாது. சில சமயங்களில் கூட்டோசைகள் கேட்கும்பொழுது விம்மல் களும் கேட்கின்றன. இந்த முரண்பாட்டையெல்லாம் வாட்ஸ் மான் தெளிவான முறையில் விளக்கி, பகுவோசைகளும் விம்மல் களும் வெவ்வேறு என்று தெளிவுபடுத்தியுள்ளார்.

ஒத்திசையும் ஒவ்வா இசையும் (Concord and Discord)

இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட ஒலிச்சுரங்களை ஒரே சமயத்தில் எழுப்பினால் அவற்றில் பல அளவில் அடங்கியுள்ள ஒத் திசையும் ஒவ்வா இசையுந்தான் பல்கூட்டு இசையொலிக்கு

அடிப்படை ஆதாரமாகும். பல்வேறு நீளங்களுள்ள கம்பிகளை மீட்டும்பொழுது எழும் ஒலிகளை இணைக்கும்பொழுது ஒத்திசைவு உண்டுபண்ண முடியுமென்று பண்டைக்காலக் கிரேக்க அறிஞர்கள் அறிந்திருந்தார்கள். ஆனால், இந்த நீளங்களெல்லாம் ஒரு குறிப்பிட்ட எளிய விகிதத்திலிருந்தால்தான் ஒத்திசைவு உண்டாகும்; அல்லாமல் சிக்கலான விகிதங்களில் இருந்தால் ஒவ்வா இசைதான் உண்டாகும். ஒத்திசையேற்படக் கம்பியின் நீளங்கள் எதற்காக எளிய விகிதத்திலிருக்கவேண்டும் என்ற சந்தேகம் அன்றே எழுந்தது. ஆனால், ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் பல்லாண்டுகள் ஆராய்ச்சிசெய்து இணக்க இசை பிணக்க இசைக்கான கொள்கையை வெளியிட்டார். அதன்படி இனிமையற்ற விம்மல்களால்தான் ஒவ்வா இசை ஏற்படுகிற தென்றும் இனிமையற்ற விம்மல்களை உண்டாக்காத சுருதி களால்தான் இணக்க இசை ஏற்படுகிறதென்றும் விளக்கிக் காண்பித்தார்.

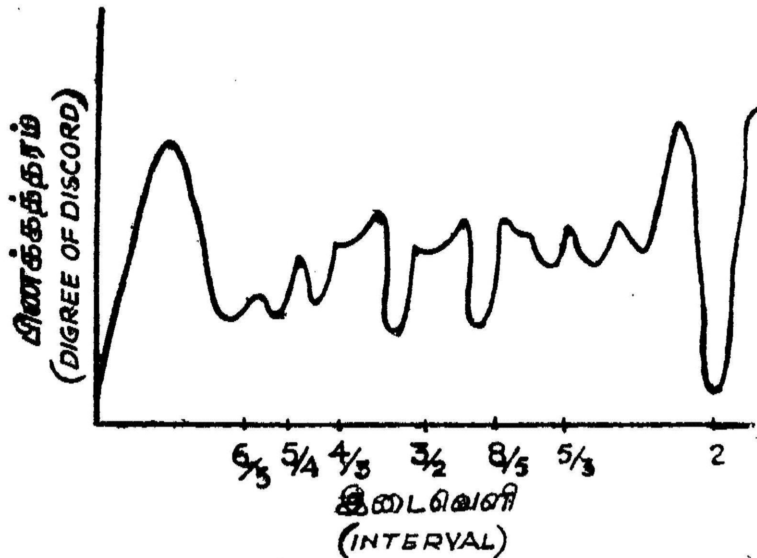
ஒத்திசை ஒவ்வா இசை நிகழ்ச்சியை ஒரு சிறந்த ஒளியியல் உவமையினால் தெளிவுற விளக்கலாம். ஒளி வீசப்பட்ட ஒரு வெண்திரையை ஒருவர் பார்ப்பதாகக்கொள்வோம். ஒரு குறைந்த கால இடைவெளியில் ஒளியைத் தடுத்தால் திரையைப் பார்ப்பவர் கண்களில் வெறுப்பு ஏற்படுவதில்லை. ஒளிச்சிமிட்டு (Flickering) நேரத்தை அதாவது ஒளி தோன்றி மறையும் கால இடை வெளியை அதிகரித்தால், இரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளி எல்லைக்குள் கண்களில் வெறுப்புணர்ச்சி ஏற்படும். ஒளிச் சிமிட்டு நேரம் இக் குறிப்பிட்ட கால எல்லையைவிடக் கூடினாலும் வெறுப்புணர்ச்சி ஏற்படுவதில்லை. அதேபோல், ஒலியியலில் குறைந்த கால இடைவெளியில் ஏற்படும் விம்மல்கள் கேட்கும் காதில் வெறுப்புணர்ச்சியை ஏற்படுத்துவதில்லை. ஏனெனில், காதின் கேள்வி நரம்புகளில் அடுத்தடுத்து இரு ஒலி உணர்வை ஏற்படுத்துவதற்குள் தேவையான கால இடைவெளியிருக் கின்றது. அதாவது விம்மல்களால் ஏற்படும் களைப்பு நீங்க, தேவையான ஓய்வுநேரம் கிடைக்கின்றது. ஒத்திசைவு கேட்கும். அதேபோல் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை ஓர் அளவுக்குமேல் அதிகரித்தால், காது கேள்வி நீடிப்பின் பண்பால் ஒலி விம்ம லோசையின் பண்பைப் பெறுகின்றது. காதுக்குக் களைப்போ, உறுத்தலோ ஏற்படுவதில்லை; ஒத்திசைவு ஏற்படும்.

மாறாக, விம்மல்களின் எண்ணிக்கை இவ்விரு எல்லைக்குள் இருந்தால், காதில் வெறுப்பும் களைப்பும் தொடர்ந்து நிற்கின்றன; அப்போது ஒவ்வாத இசையுண்டாகிறது.

விம்மல்களின் எண்ணிக்கை 8-க்குக். கீழோ அல்லது 38-க்கு மேலோ இருக்கும்பொழுதே ஒத்திசைவு ஏற்படும் என்றும், விம்மல்களின் எண்ணிக்கை 8-க்கும் 33-க்கும் இடைப்படும் போது ஒவ்வா இசை கேட்கும் என்றும் காணப்பட்டது.

சுரங்களால் ஏற்படும் பிணக்க இசை அதாவது ஒவ்வா இசை, (1) ஒரு வினாடியில் கேட்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை; (2) விம்மல்களை ஏற்படுத்தும் இரு சுரங்களின் சார்பிலா அதிர் வெண்கள்; (3) ஒலியின் சுரப்பண்பு இவற்றைப் பொருத் திருக்குமெனப் பின்னர் செய்யப்பட்ட சோதனைகளால் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் தம் ஆராய்ச்சியின் முடிவைக் கீழ்க் காணும் வரைபடத்தால் விளக்கியுள்ளார்: ஓர் எண்மத்தினுள் அடங்கியுள்ள இசை இடைவெளிகளை x அச்சிலும், இசைப் பிணக்கத்தின் தரத்தை y அச்சிலும் இணைத்து வரைகோடு வரைந்தால், ஒத்திசைவு, ஒவ்வா இசைவு ஏற்படும் தன்மை



படம் 74

விளங்கும். இசைப் பிணக்கம் பெரும சிறும அணியில் அடங்கி யுள்ளது புலப்படும். ஒத்திசைவுக்குப் பிணக்கம் சிறுமத்திலிருக்க

வேண்டும். அதாவது, இரு ஒலிச்சுரங்களின் அதிர்வெண் விகிதம் 1:1, 1:2, 2:3 இருக்குமானால், பிணக்கம் குறைந்து ஒத்திசைவு ஏற்படும். மேலும், சிறு முழு எண் விகிதத்தில் குறிப்பிடுமாறு இடைவெளிகளிருக்குமானால், ஒத்திசைவு ஏற்படும் என்பது வரைகோட்டிலிருந்து புலனாகிறது. விகித எண்கள் சிறியவையாய் இருக்கும்போது ஒத்திசைவு தெளிவும் இனிமையும் அடையும். முக்கியமான இடைவெளி விகிதங்கள் வரைகோட்டின் சரிவினால் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன.

ஒலியின் உரப்பும் (Loudness) **ஒலியின் செறிவும்** (Intensity)

இசை, இரைச்சல் இரண்டிற்கும் பொதுவான ஒரு குணம் உரப்பு ஆகும். இது செவியில் ஒலியலை தோற்றுவிக்கும் உணர்வின் அளவாகும். ஒலி பரவும் திசைக்குக் குத்தாக ஓர் அலகு பரப்பில் ஒரு வினாடியில் செல்லும் ஒலி ஆற்றலின் அளவைக் குறிப்பது செறிவு ஆகும். ஒலியின் செறிவு (I) அந்த ஒலி அலையின் வீச்சின் (A) இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் ($I \propto A^2$) என்பது நாம் முன்பே அறிந்த உண்மை. எனவே, உரப்பு ஒலியின் செறிவையும், செவியின் உணர்திறனையும் (Sensitiveness) பொருத்தது.

ஒலியின் உரப்பு log I-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் என்பது சோதனைமுறையில் கண்டறிந்த உண்மை. எனவே, செறிவு உயர உரப்பும் உயரும்.

அதிரும் பரப்பு பெரியதாயிருந்தால், மிகுந்த அளவில் ஆற்றலைத் தோற்றுவிக்கும். எனவே, உரப்பு, ஒலிக்கும் பொருளின் உருவ அமைப்பைப் பொருத்தும் இருக்கும். மேலும், ஒரு பொருளின் இயங்கு ஆற்றல் ஊடகத்தின் அடர்த்தியைப் பொருத்திருக்கும். ஆகவே, ஊடகத்தின் அடர்த்தி உயர ஒலியின் உரப்பும் உயரும்.

உரப்பை அளவிடுதல் (Measurement of Loudness)

செவியால் உணரப்படும் ஒலியின் உரப்பு log I-க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. I_0, I_1 என்பவை ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண் உடைய ஒலி அலைகளின் செறிவுகளாக இருக்கட்டும். L_0, L_1 என்பவை முறையே அவற்றின் உரப்புகள் என்போம்.

$$L_1 \propto log_{10} I_1$$

$\therefore$ $L_1 = K\, log_{10} I_1$, K என்பது ஒரு மாறிலி.

$$L_0 = K\, log_{10} I_0$$

இந்த இரு உரப்புகளுக்குமிடையே உள்ள வேறுபாட்டிற்கு செறிவு மட்டம் (Intensity level) என்று பெயர்.

அதாவது, செறிவு மட்டம் $L = L_1 - L_0$

$= K [log_{10} I_1 - log_{10} I_0]$

$= K log_{10} I_1/I_0$

இதில் I_0 என்பது படித்தரக் குறிப்புச் செறிவாய்க் (Standard Reference Intensity) கொள்ளப்படுகிறது. அதன் மதிப்பு சதுர மீட்டருக்கு 10^{15} கிலோ வாட் ஆகும். இது, அதிர்வெண் 1000 உடைய ஒலியைச் செவி உணரத் தொடங்கும்போது (threshold audibility) அந்த ஒலியின் செறிவிற்குச் சமமாகும்.

டெசிபெல் (Decibel)

மேல் கண்ட சமன்பாட்டில் K-யின் மதிப்பை 1 என்று எடுத்துக்கொண்டால், உரப்புகளின் வேறுபாடு $L = log_{10} (I_1/I_0)$ ஆகும். உரப்புகளின் இந்த வேறுபாடு பெல் (Bel) என்ற அலகால் குறிக்கப்படுகின்றது. தொலைபேசியைக் கண்டு பிடித்த 'கிரகாம் பெல்' என்பவரின் நினைவாக இந்த அலகு வழங்கி வருகின்றது. இந்த அலகு மிகப் பெரிதாக இருப்பதால், இதில் 10-ல் ஒரு பங்கை டெசிபெல் (Decibel) என்கிறோம். இது ஒரு படித்தர அலகாகும் (Standard Unit). எனவே, உரப்புகளின் வேறுபாட்டை டெசிபெல்லில் குறித்தால்

$L = 10 log_{10} (I_1/I_0)$ டெசிபெல் ஆகும். $L = 1$ டெசிபெல் என்றால், $1 = 10 log_{10} (I_1/I_0)$ ஆகும்.

ஆகையால், $log_{10} I_1/I_0 = \frac{1}{10}$

எனவே $I_1/I_0 = 1{\cdot}26$ ஆகும்.

அதாவது, ஒலிச்செறிவில் 26 சதவீத (26%) மாற்றம் செறிவு மட்டத்தை ஒரு டெசிபெல் அளவு மாற்றுகிறது. இது மிகச் சிறிய மாற்றம். இந்த மாற்றத்தைச் செவி உணராது.

$I_1 = 100 I_0$ ஆக இருக்கும்பொழுது

$L = 10 log_{10} 100$

$= 10 log_{10} 10^2$

ஆகையால், $L = 20$ டெசிபெல் ஆகும்.

இதேபோல் $I_1 = 1000 I_0$ ஆக இருக்கும்பொழுது

$L = 10 log_{10} 10^3$

$\therefore L = 30$ டெசிபெல்.

இதிலிருந்து இரு ஒலிகளின் உரப்பு வேறுபாடு 20 டெசி பெல்கள் ஆனால், அவற்றில் உரப்பு மிக்க ஒலியின் செறிவு மற்றதைவிட 100 பங்கு மிகுந்திருக்கும் எனத் தெரிகிறது. அதேபோல் உரப்பு வேறுபாடு 30 டெசிபெல்கள் ஆனால், ஒன்றின் செறிவு மற்றதைப் போல் 1000 பங்கு மிகுந்தது என்பதும் தெளிவாகிறது.

உரப்பின் அளவீட்டிற்காக ஒரு சுழிநிலையைக் குறிக்க வேண்டும். செவி உணரத் தொடங்கும் (threshold of hearing) உரப்பு நிலையை இந்த அளவீட்டின் சுழிநிலையாகக் கொள்ளலாம். செவி உணரத் தொடங்கும் ஒலியின் செறிவு $I_0 = 10^{-15}$ கிலோ வாட்/சதுர மீட்டர் ஆகும். வலியறியாமல் செவி ஏற்கக்கூடிய ஒலியின் செறிவு 10^{-3} கிலோ வாட்/சதுர மீட்டர் ஆகும். எனவே,

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{-3}}{10^{-15}}\right)$$

$$= 10 \log_{10} 10^{12}$$

அதாவது L = 120 டெசிபெல்கள் ஆகும்.

ஃபோன் (Phone)

செவி உணர்திறனும், அதன் அதிர்வு எண் எல்லையும் ஒலிச்செறிவைப் பொருத்து மாறுகின்றன. ஒரே ஒலிச்செறிவுடைய, ஆனால் வேவ்வேறு அதிர்வெண்ணுடைய ஒலி அலைகள் உரப்பில் வேறுபடுகின்றன. எனவே, உரப்பை அளவிட 'ஃபோன்' என்னும் மற்றோர் அலகும் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. ஃபோன்களில் அளவிடப்பட்ட ஓர் ஒலியின் உரப்பு, விநாடிக்கு 1000 அதிர்வுகள் உடைய ஒரு தனிச் சுரத்தின் டெசிபெல்களில் அளவிடப்பட்ட உரப்பிற்குச் சமமாகும்.

ஆகவே, விநாடிக்கு 1000 அதிர்வுகளில் டெசிபெல் அளவீடும், ஃபோன் அளவீடும் ஒத்திருக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, 512 அதிர்வு உடைய ஒரு சுரத்தின் உரப்பைக் காண்போம். 1000 அதிர்வுடைய ஒரு படித்தரச் சுரத்தை ஒலிக்கச் செய்து, அதன் உரப்பைக் கொடுக்கப்பட்ட சுரத்தின் உரப்புக்குச் சமமாகச் சரி செய்யலாம். இப்போது படித்தரச் சுரத்தின் செறிவு மட்டம் (டெசிபெல்களில்) கொடுக்கப்பட்ட சுரத்தின் உரப்பை ஃபோன்களில் கொடுக்கும். இரைச்சலை அளக்கும் அலகாகவும் ஃபோன் பயன்படுகின்றது.

இசைச்சுர வரிசைகள் (Musical Scales) அல்லது இசையணிகள்

சென்ற அத்தியாயத்தில் இரு சுரங்களின் விகிதம் 1:1 அல்லது 1:2 என இருக்கும்போது மிகுந்த ஒத்திசைவு ஏற்படும் எனக் கண்டோம். 1:2 என்னும் விகிதத்தினுள் அடங்கியுள்ள

அதிர்வெண்களின் நெடுக்கம் (range) எண்மம் (octave) எனப் படும். ஓர் எண்மத்தினுள் அடங்கியுள்ள வெவ்வேறு அதிர் வெண் உடைய சுரங்களே இசைச்சுர வரிசையைக் குறிக்கும். இச் சுரங்களை ஏறும் வரிசையிலோ அல்லது இறங்கும் வரிசை யிலோ ஒலித்தால், காதில் இனிய உணர்வை ஏற்படுத்தும். இவ்வாறாக ஒலியின் சுருதி, அதன் வேறுபாடு, அதன் ஏற்றத் தாழ்வு, இவை காதில் ஏற்படுத்தும் இனிய உணர்வு இவை யெல்லாம் பொதுவாக இசை எனப்படும். இசைக்குத் தேவைப் படும் மூன்று முக்கியமான பண்புகள் லய இசை (Rhythm), ஒழுங்கு இசை (Melody), ஒருங்கு இசை (Harmony) ஆகும். லய இசை ஒலிகளுக்கிடையேயுள்ள கால அளவைக் குறிக்கும். ஒழுங்கு இசை என்பது சுருதி ஏற்றத்தாழ்வுடன் ஒலிகளைத் தொடர்ந்து எழுப்பும்போது அவற்றிற்கிடையே ஏற்படும் தொடர்பினால் உண்டாகும் இனிய உணர்ச்சியைக் குறிக்கும். ஒருங்கு இசை பல ஒலிகளைச் சேர்ந்தாற்போல் எழுப்பும்போது உண்டாகும் இனிய உணர்ச்சியைக் குறிக்கும்.

ஒருங்கு இசையை முக்கியமாகக் கொண்டு மேனாட்டு இசை (Western Music) அமைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால், கர்னாடக இசை (Carnatic Music) ஒழுங்கு இசையை முக்கியமாகக் கொண்டு அமைந்துள்ளது. ஒழுங்கு இசையில் தொடர்ந்து ஒலியின் சுருதியை மாற்றாமல், படிப்படியாக முதலில் மேலே ஏற்றியும், பிறகு அதே மாதிரி படிப்படியாகக் கீழே இறக்கியும் சுரப்பண்பைப் பெறுகிறோம். இம் முறை மேளகர்த்தா எனப் படும். மேல்நாட்டு இசையில் இதற்கு இசை அலகு (Musical Scale) அல்லது பெரிய டயட்டானிக் சுரவரிசை எனப் பெயர். முற்காலந்தொட்டு மாறாமல் வந்துள்ள இச் சுர வரிசையில் ஆதாரச் சுருதியிலிருந்து (tonic) மேற்சுரம் வரை எட்டு சுர தானங்கள் உள்ளன. அவை Doh, Ray, Me, Fah, Soh, Lah, Te, Doh' என வழங்கப்படுகின்றன. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் குறியீட்டு முறையில் அவை *C, D, E, F, G, A, B, C'* என்னும் எழுத்து களால் குறிக்கப்படுகின்றன. கர்னாடக இசையில் இவற்றை ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி, ஸா என்னும் எழுத்துகளால் குறிப்பிடு கிறோம். முதல் வரிசையில் இச் சுரதானங்களின் அதிர்வெண்கள் 256, 288, 320, 341·3, 384, 426·7, 480, 512 ஆகும்.

ஒரு முழு சுர வரிசையில் ஏழு இடைவெளிகள் உள்ளன. ஒரு சுர தானத்திற்கும், மற்றொரு சுர தானத்திற்கும் உள்ள இடைவெளியை அதிக சுருதியுள்ள ஒலியின் அதிர்வெண்ணைக் குறைந்த சுருதியுள்ள ஒலியின் அதிர்வெண்ணால் வகுத்துப் பின்னத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். எடுத்துக்காட்டாக, *C, D*

என்னும் முதல் இரு சுரங்களின் இடைவெளி $\frac{D}{C} = \frac{288}{256} = \frac{9}{8}$ ஆகும். இதற்கு மேஜர் டோன் (Major Tone) என்று பெயர். *D, E* இவை இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி 320/280 = 10/9 ஆகும். இதற்கு மைனர் டோன் (Minor Tone) என்று பெயர். *E, F* இவை இரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள இடைவெளி 341/320 = 16/15 ஆகும். இதற்கு ஸெமி டோன் (Semi Tone) என்று பெயர். *F, G* இவை இரண்டிற்கும் உள்ள இடைவெளி 384/341 = 9/8 ஆகும். *G, A* இவை இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி 426/384 = 10/9 ஆகும். *A, B* இவை இரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள இடைவெளி 480/426 = 9/8 ஆகும். *B, C'* இவை இரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள இடைவெளி 512/480 = 16/15 ஆகும். இவ்வாறாக அடுத்தடுத்த சுருதிகளுக்கிடையேயுள்ள இடைவெளியைக் கணக்கிடும் முறையில் மூன்று மேஜர் டோன்களும், இரண்டு மைனர் டோன்களும், இரண்டு ஸெமி டோன்களும் உள்ளன.

இடைவெளிகளை வேறொரு முறையிலும் கணக்கிடலாம். அதாவது ஒவ்வொரு சுருதியையும் ஆதாரச் சுருதியினால் வகுத்து வரும் பின்னத்தால் குறிப்பிடலாம். இம்முறையில் *C, D* இவை இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி 9/8 ஆகும். இதற்கு ஸெகண்ட் (Second) என்று பெயர். *C, E* இவை இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி 320/256 = 5/4. இதற்கு மேஜர் தேர்டு (Major Third) என்று பெயர். *C, F* இவை இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி 347/256 = 4/3. இதற்கு மேஜர் ஃபோர்த் (Major Fourth) என்று பெயர். *C, G* இவை இரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள இடைவெளி 384/256 = 3/2 மேஜர் ஃபிஃப்த் (Major Fifth) எனப்படும். *C, A* இவை இரண்டிற்கும் இடையிலுள்ள இடைவெளி 426/256 = 5/3 மேஜர் ஸிக்ஸ்த் (Major Sixth) எனப்படும். *C, B* இவை இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி 480/256 = 15/8 மேஜர் செவன்த் (Major Seventh) எனப் பெயர். *C', C* இவை இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி 512/256 = 2 எண்மம் (Octave) எனப்படும்.

மேனாட்டு இசையில் பேரலகு (Major Scale), சிற்றலகு (Minor Scale) என்ற இரு மேளக் கர்த்தாக்களுண்டு. பேரலகு கர்னாடக இசையின் சங்கராபரணத்தைப் போன்றிருக்கும். இவ்வலகிலுள்ள சுர தானங்களை ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி, ஸா என்று குறிப்பிடுகின்றோம். பேரலகு, இயற்கைப் பேரலகு என்றும், டயட்டானிக் பேரலகு என்றும் அழைக்கப்படும். பேரலகின் குறிகள், சுருதிகள், இரண்டு வகை இடைவெளிகள் முதலியவற்றைப் பின்வரும் அட்டவணையில் காணலாம்:

	எண்	1	2	3	4	5	6	7	8
குறி	மேல் நாட்டு இசை	Doh	Ray	Me	Fah	Soh	Lah	Te	Doh'
	கர்நாடக இசை	ஸ C	ரி D	க E	ம F	ப G	த A	நி B	ஸா C'
அதிர்வெண் (சுருதி)		256	288	320	341·3	384	426·7	480	512
அடுத்தடுத்த சுருதிகளின் விகிதம்			9/8 Major	10/9 Minor	16/15 Semi-tone	9/8	10/9	9/8	16/15
ஆதாரச் சுருதிக்கு விகிதம்			9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

மேனுட்டுச் சிற்றலகு சுர வரிசையில் வேறு வகை இடைவெளித் தொடர்ச்சி பயன்படுகிறது. இதில் எந்த ஓர் இடைவெளியும் ஸெமிடோன் அளவுக்குக் குறைவாக இருக்கக் கூடாது என்னும் கொள்கையில் உருவாகியுள்ளது. இந்தச் சிற்றலகு டையட்டானிக் சுர வரிசையின் இடைவெளிகள் 16/15, 6/5, 4/3, 3/2, 8/5, 16/9, 2 ஆகும். ஆதாரச் சுருதி ஏதாயிருந்தாலும், இசையின் சுருதி விகிதங்கள் மாறாமலிருக்க வேண்டும்.

அதிர்வெண் 512-ஐ ஆதாரமாகக் கொண்டு, 1024-ஐ எண்மசுருதியாகவும் கொண்டு இடையிலுள்ள ஏனைய சுருதிகளை யெல்லாம் எழுப்பிப் பார்த்தால், மேலே கொடுக்கப்பட்ட விகித வரிசைகள் இங்கும் காணப்படும். டயட்டானிக் பேரலகைப் பயன்படுத்தி எந்த இசையை இயற்றினாலும் ஒவ்வோர் ஒலியும் ஆதாரச் சுருதியுடன் அட்டவணையில் குறிப்பிட்டுள்ள விகிதத்தில் இருக்க வேண்டும். அல்லது அந்த விகிதத்தின் முழு எண் மடியாக இருக்க வேண்டும்.

இந்திய கர்நாடக இசையில் ஓர் எண்மத்திற்குள் ஏழு சுரங்கள் இருப்பதாயும், அவை ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி என்று குறிக்கப்படுவதையும் கண்டோம். இவற்றுடன் அடுத்த எண் மத்தின் முதல் சுரமாகிய ஸா-வும் சேர்ந்து கொள்ளும். இவை ஸோல் ஃபா முறையின் (sol-sa-system) Doh, Ray என்னும் குறியீடுகளை ஒத்திருக்கும். ஸ, ரி... என்னும் குறிகள் முறையே ஷட்ஜ (Shadja), ரிஷப (Rishaba), காந்தார (Gandhara), மத்யம (Madhyama), பஞ்சம (Panchama), தைவத (Dhaivatha), நிஷாத (Nishada) முதலிய சுரங்களைக் குறிக்கின்றன. அடுத்த எண்மத்தின் முதல் சுருதியான ஷட்ஜ இதைத் தொடர்ந்து வரும். இவற்றில் ப, ஸ இரண்டும் 3/2 என்னும் விகிதத்திலுள்ளன. மாற்றத்தை அனுமதிக்காத இவை மாறாத சுரங்கள்; நன்றாக ஒத்திசைக்கக் கூடியவை. இவற்றிற்குப் பிரக்ருதி (Prakruthi) சுரங்கள் என்று பெயர். ஏனைய ஐந்து சுரங்களும் விக்ருதி (Vikruthi) சுரங்கள் எனப்படும். சிறு மாற்றங்களை இவை அனுமதிக்கும். அவை யாவன: (அ) ரி-யில் சுத்த ரிஷப, ச்சதுஸ்ருதி ரிஷப, ஷட்ஸ்ருதி ரிஷப என மூன்று வகையும், (ஆ) க-வில் சுத்த காந்தார, சாதாரண காந்தார, அந்தர காந்தார என மூன்று வகையும், (இ) ம-வில் சுத்த மத்யமா, ப்ரதி மத்யமா என இரண்டு வகையும், (ஈ) த-வில் சுத்த தைவத, ச்சதுஸ்ருத் தைவத, ஷட்ஸ்ருதி தைவத என மூன்று வகையும், (உ) நி-யில் சுத்த நிஷாத, கைஸிகி நிஷாத, ககாலி நிஷாத என மூன்று வகையும் ஆகும். இவற்றில் சில தட்டையாகவும் (Flat), சில கூர்மையாகவும் (Sharp) இணைந்து விடுகின்றன. ச்சதுஸ்ருதி

ரிஷபமும், சுத்த காந்தாரமும் ஒன்றாக இணைகின்றன; ஷட்ஸ்ருதி ரிஷபமும், சாதாரண காந்தாரமும் தட்டையாக இணைகின்றன; ச்சதுஸ்ருதி தைவதமும் சுத்த நிஷாதமும் ஒன்றாக இணைகின்றன; ஷட்ஸ்ருதி தைவதமும் கைஸிகி நிஷாதமும் கூர்மையாக இணைகின்றன. எனவே, விக்ருதி சுரத்தில் கூறப் பட்ட பதினான்கு வகையும் பத்தாக இணைந்து பிரக்ருதி சுரங்கள் இரண்டுடன் சேர்ந்து மொத்தம் 12 சுரங்களாக மாறுகின்றன இந்த அமைப்புக்குத்தான் 12 சுருதிக்கருத்து என்று பெயர். ஒப்பு அதிர்வெண் அளவுகோல் முறையில் இந்த 12 சுருதிகளும் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன :

கர்நாடக இசை —குறி	மேல் நாட்டு இசை —குறி	சுரத்தின் பெயர்	குணம்	12 சுரம்
ஸ	C	ஷட்ஜம்		1
ரி	D	சுத்த ரிஷபம்	தட்டை	2
ரி ரி	D	ச்சதுஸ்ருதி ரிஷபம் சுத்த காந்தாரம்		3
க க	E	ஷட்ஸ்ருதி ரிஷபம் சாதாரண காந்தாரம்	தட்டை	4
க	E	அந்தர காந்தாரம்		5
ம	F	சுத்த மத்யமம்		6
ம	F	ப்ரதி மத்யமம்	கூர்மை	7
ப	G	பஞ்சமம்		8
த	A	சுத்த தைவதம்	தட்டை	9
த த	A	ச்சதுஸ்ருதி தைவதம் சுத்த நிஷாதம்		10
த த	A	ஷட்ஸ்ருதி தைவதம் கைஸிகி நிஷாதம்	கூர்மை	11
நி	B	ககாலி நிஷாதம்		12

இவ்வட்டவணையில் கண்டபடி 12 சுரங்களையும் ஓர் எண் மத்தினுள் காணலாம். எந்த ஓர் இராகத்தின் அலைகையும்

விக்ருதி சுரமொன்றுடன் பிரகிருதி சுரங்களையும் இணைத்து அமைக்கலாம். இந்த முறையில் 72 அலகுகளை அமைக்கலாம். இவற்றிற்கு மூல (Parent) அலகுகள் அல்லது மேளக்கர்த்தா இராகங்கள் (Melagartha Ragas) என்று பெயர்.

உதாரணமாக, 7 சுரங்களில் முதல் மூன்று சுரங்களாக 1, 3, 5 அமைந்தால் இசை வரிசை ஸ, ரி, க என பாடப்படும். அதேபோல் 1, 2, 3 இவை முதல் மூன்று சுரங்களாக அமைந்தால், அப்போதும் இசை வரிசை ச, ரி, க என்றே பாடப் பெறும். ஆனால் பின் முறையில் சொன்ன 'க' முன் முறையில் சொன்ன 'ரி' இவற்றின் அதிர்வெண் ஓசைத் தொடர்பு ஒன்றா யிருக்கும். இவ்வாறாக ஆதார ஷட்ஜ ஓசையுடன் ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண் தொடர்புடைய சுரக்கோவை இராகமெனப்படும். சுரங்களின் இடைத்தொடர்பு இருந்த போதிலும் அவை அவ்வளவு முக்கியமல்ல.

மேற்கூறிய 12 கர்னாடக இசை அலகுகளில் 1, 3, 5, 6, 8, 10, 12 சுரங்களைச் சேர்த்தால் ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி என்றும், *C, D, E, F, G, A, B* என்றும் பொருந்தும். அதாவது சுரங்கள் 1, 3, 5, 6, 8, 10, 12 இவற்றைக்கொண்டு மேஜர் டயட்டானிக் அலகை ஒத்து அமையும் இராகம் 'சங்கராபரணம்' என்பது விளங்கும். இந்திய இசையில் சுரங்களுடன் கமகங்களையும் சேர்த்து இழைப்பது மரபு. இவையே கர்னாடக இசையின் நுண்ணிய கருத்துகள்.

ஒரு சில அதிர்வெண் விகிதமுள்ள ஒலிகள் எழும்போது ஒத்திசையும், வேறு சில அதிர்வெண் விகிதமுள்ள ஒலிகள் எழும் போது ஒவ்வா இசையும் உண்டாகுமென்பது ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸின் ஆராய்ச்சியில் கண்ட உண்மை. டயட்டானிக் சுர வரிசையில் ஸ-ம என்ற சுருதிகள் ஒலிக்கப்படும்பொழுதும் ஸ-ப என்ற சுருதிகள் ஒலிக்கப்படும்பொழுதும் ஒத்திசை எழுகின்றது. அதேபோல் ஸ-ரி என்ற சுருதிகளும், ஸ-நி என்ற சுருதிகள் ஒலிக்கப்படும்பொழுது ஒவ்வா இசை எழுகின்றது. ஆகையால் 4/3, 3/2 என்பவை ஒத்திசை இடைவெளிகள்; 9/8, 15/8 என்பவை ஒவ்வா இசை இடைவெளிகள்.

சுருதிகளை ஒழுங்குபடுத்துவதற்காகப் பாடகர்கள் தம்பூரா போன்ற ஒத்து ஊதும் கருவிகளைப் பயன்படுத்துவதைக் காணலாம். இக் கருவிகள் பொதுவாக மேற்கூறிய ஒத்திசை இடைவெளிகளுள்ள சுருதிகளைத்தான் கிளப்பும்.

சுருதிமட்டுப்பாடு (Temperament)

மேனாட்டு இசையின் முக்கிய சிறப்பியல்பு அதிர்வெண் பண்பேற்றமாகும் (Frequency Modulation) ஓரே மூலச் சுருதியைக் கொண்டுள்ள இசைபலகை வைத்து எழுப்பும் எந்த இசையும் அலுப்பு தட்டும் வகையில் இருக்கும் என்பதை மேனாட்டு இசை வல்லுநர்கள் உணர்ந்தார்கள்; இசை உற்சாகம் ஊட்டக் கூடியதாயும், இசைவளம் மிக்கதாயும் இருக்க வேண்டுமாயின், ஓர் இசைத்தொகுப்பை இசைக்கும் போதே சுரத்தை மாற்ற வேண்டும் என்பதை விளக்கிறார்கள்.

கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் உள்ளதைப் போன்ற சுர வரிசையிலுள்ள சாவிப்பலகை பொருத்தப்பட்ட வாத்தியத்தை ஒருவர் இசைப்பதாகக் கொள்வோம்.

டயட்டானிக் சுர வரிசை	256	288	320	341·3	384	426·7	480	512				
சாவிகள்	C	D	E	F	G	A	B	C′				
இடைவெளி (அடுத்தடுத்த சுருதிகளின் விகிதம்)		9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	9/8	10/9 16/15	9/8 10/9	9/8 16/15

முதல் சுருதியாகிய 256-ல் ஆரம்பித்தால்தான் பெரிய டயட்டானிக் சுர வரிசை முழுத்தொடரையும் கடக்க முடியும். ஆனால், இப்படி ஆரம்பிப்பது எப்போதும் எல்லோராலும் செய்ய இயலாது. ஏனெனில், ஒவ்வொரு பாடகரின் ஆரம்பச் சுருதி அவரது திறமையையும் சௌகரியத்தையும் பொருத்திருக்கும். ஒருவருக்கு 288-ஐ ஆரம்பச் சுருதியாகக் கொண்டு ஆரம்பிப்பது தான் சௌகரியம் எனக் கொள்வோம். எனவே, அவர் வரிசையாக எழுப்பக்கூடிய சுரங்கள் 288, 320, 341·3, 384, 426·7, 480, 512 ஆகும். இவற்றின் இடைவெளிகள் 10/9, 16/15, 9/8, 10/9, 9/8, 16/15 என்ற வரிசையில் அமையும். ஆனால் டயட்டானிக் சுர வரிசையில் முதல் இடைவெளி 9/8 ஆகையால், இப் பாடகரின் சுருதிகளின் ஒவ்வோர் இடைவெளியும், டயட்டானிக் சுரவரிசையும் இடைவெளி வரிசையினின்றும் மாறுபட்டிருக்கும். இது இசைப் பண்பாட்டைப் பெரிதும் பாதிக்கும். சுருங்கக் கூறின், 256-ஐ ஆரம்பச் சுருதியாகக் கொண்டு ஆரம்பித்தாலொழிய, அவரால் முழு டயட்டானிக் சுரவரிசையைக் கடக்க இயலாது. இது அவரது சௌகரியத்தை பாதிக்கும். ஆகையால், பாடகரின் சௌகரியத்தைப் பாதிக்காமல் முழு டயட்டானிக் சுரவரிசையைக் கடக்க வேண்டுமாயின், சுரவரிசையின் இடைவெளிகள் மாறியிருக்க வேண்டும். இதற்கு இடைச் சுரங்களைப் புகுத்த வேண்டும்

டயட்டானிக் சுரங்களிடையே வேறு சுரங்களைப் புகுத்தி இடைவெளிகளைச் சமமாக்கி விருப்பப்படி சுரக் கட்டுப்பாட்டைப் பாட வசதி செய்ய வேண்டும். இவ்வாறு வசதி அளிக்கும் வகையில் மாற்றியமைக்கப்பட்ட சுர வரிசையைச் சம சுருதி சுர வரிசை (Tempered Scale) என்கிறோம். இவ்வாறு செய்வதற்குச் சுருதிமட்டுப்பாடு (Temperament) என்று பெயர்.

பழங்காலந்தொட்டு சுருதிமட்டுப்பாடு பல்வேறு முறையில் செய்யப்பட்டு வந்துள்ளது. இங்கிலாந்து, மற்றும் ஐரோப்பிய நாடுகளில் பல நூற்றாண்டுகளாகப் பயன்படும் சராசரி சுருதி அமைப்பு முறையையும், தற்சமயம் பெரும்பான்மையாகப் பயன் படுத்தப்படும் சம சுருதி அமைப்பு முறையையும் பார்ப்போம்.

சராசரி சுருதி அமைப்பில் மேஜர் டோன், மைனர் டோன் இரண்டிற்கும் உள்ள வேற்றுமை நீக்கப்பட்டுள்ளது. 51 சவர்ட்ஸ் இடைவெளியை மேஜர் டோன் கொடுக்கும். 45·6 சவர்ட்ஸ் இடைவெளியை மைனர் டோன் குறிக்கும். இவை இரண்டிற்குமுள்ள வேறுபாட்டை நீக்கி 48·3 சவர்ட்ஸுக்குச் சமமான சராசரி சுருதி பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு செமி

டோனுக்கு 27·9 சவர்ட்ஸ் இடைவெளி பயன்படுகிறது. இவ் வகையான சுருதிமட்டுப்பாட்டிற்கு எல்லாக் குறியிலும் பண் பேற்றம் செய்ய ஓர் எண்மத்திற்கு 21 சாவிகள் தேவை. ஓர் எண்மத்தினுள் 12 சாவிகள் மட்டும் இருந்தால், ஒரு சில சாவி களில் மட்டுந்தான் சுருதி பண்பேற்றம் செய்யலாம். எனவே, இவ் வகையான சுருதிமட்டுப்பாடு இப்போது பயன்படுவதில்லை. ஓர் எண்மத்தினுள் 21 சாவிக்கட்டை இருந்தாலும் ஒரு சுர வரிசையின் இராகத்தில் பாடுவது அவ்வளவு எளிதல்ல.

சம சுருதி அமைப்பு வெகுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இம் முறையில் ஓர் எண்மம் 12 சம இடைவெளிகளாகப் பிரிக்கப் பட்டுள்ளது. ஒவ்வோர் இடைவெளியின் மதிப்பு $12 \sqrt{2}$ = 1·0595 ஆகும். இது கிட்டத்தட்ட ஒரு செமி டோனின் மதிப் புக்குச் சமம். 16/15 = 1·067 இரு செமி டோன்களின் மதிப்பு 1·067 × 1·167 = 1·138 ஆகும். ஒரு மேஜர் டோனின் மதிப்பு 9/8 = 1·125 எனவே, இரு செமி டோன்களின் மதிப்பும் ஒரு மேஜர் டோனின் மதிப்பும் கிட்டத்தட்ட சமமாகும். இது போலவே ஒரு மைனர் டோனின் மதிப்பும் 10/9 = 1·111 கிட்டத் தட்ட இரு செமி டோன்களின் மதிப்புக்குச் சமமாகும். ஒரு முழு டயட்டானிக்கின் சுர வரிசையின் மூன்று மேஜர்களும், இரண்டு மைனர்களும், இரண்டு செமி டோன்களும் இருப்ப தால், இவை யாவும் சேர்ந்து 12 செமி டோன்களுக்குச் சமம் என எடுத்துக்கொள்ளலாம். எனவே, ஆதாரச் சுருதி, இறுதிச் சுருதி இவற்றின் விகிதத்தை ஓர் எண்மமாகவே இருத்திக் கொண்டு இவற்றினுள் அடங்கிய இடைவெளியை 12 சமபாகங் களாகப் பிரித்தால், ஒரு பாகத்தின் மதிப்பு $12 \sqrt{2}$=1·059 ஆகும். எனவே, ஆதாரச் சுருதியை C என்றும், ஒவ்வோர் இடை வெளியை X=1·059 என்றும் எடுத்துக்கொண்டால், சம சுருதி சுர வரிசையைப் பின்வரும் அட்டவணையில் உள்ளதைப் போல் அமைக்கலாம்:

	C		D		E		F		G		A		B	C
டயட்டானிக் சுர வரிசை	256		288		300		341·3		384		426·7			
சம சுருதி சுர வரிசை	C C 256	Cx C^x 271·1	Cx^2 D 287·1	Cx^3 Dx 304·2	Cx^4 E 322·2		Cx^5 F 341·2	Cx F^x 361·4	Cx^7 G 383·1	Cx^8 G^x 405·7	Cx^9 A 427·5	Cx^{10} A^x 455·2	Cx^{11} B 482·1	Cx^{12} C 510·9
இரு சுர வரிசைகளுக்குள்ள வேறுபாடு	0		0·9		2·2		0·1		0·9		2·8		2·1	1·1

ஓர் இசைக்கருவியில் சம சுருதி சுர வரிசைக்குள்ள சுரக் கட்டைகள் அமைக்கப்பட்டிருப்பதால், எந்தக் கட்டையில் வேண்டுமானாலும் ஆரம்பிக்கலாம்; வேண்டிய இடைவெளியைப் பெறலாம். செமி டோன் வேண்டுமாயின், அடுத்தடுத்த கட்டையை இயக்க வேண்டும்; மேஜர் அல்லது மைனர் டோன் வேண்டுமாயின், இரு கட்டைகளைத் தாண்டி இசைக்க வேண்டும். ஆகையால் எந்த ஒரு பாடகரும், அவர் சௌகரியத்திற்கு அவர் விருப்பத்திற்கேற்ற ஒரு கட்டையில் ஆரம்பித்து டயட்டானிக் சுர வரிசையில் பாட இயலும்.

இம் முறையிலும் சில குறைபாடுகள் உள்ளன: (அ) மேஜர் டோனோ மைனர் டோனோ, ஒரு செமி டோனுக்கு முற்றிலும் சமமாக இல்லை. ஆரம்பச் சுருதியைத் தவிர, சமசுருதிச் சுரவரிசையில் எந்த சுருதியும் டயட்டானிக் சுர வரிசையில் இருப்பதில்லை. (ஆ) $12\sqrt{2}$-ன் மதிப்பைச் சுமாராகத்தான் கணக்கிட்டுக்கொள்கிறோம். (இ) எண்மச் சுருதிகூடச் சரியாக இருப்பதில்லை. டயட்டானிக் சுர வரிசை, சம சுருதி சுர வரிசை இவை இரண்டின் எண்மத்தின் வேறுபாடு 512 – 510·9 = 1·1 ஆகும். இக் காரணங்களினால், சம சுருதி சுர வரிசையில் இசை எழுப்பும் போது பல ஒலிகள் இணையாமல் ஒவ்வா இசையே உண்டாகும். மற்ற வசதிகளுக்காக இக் குறைகளைப் பெரிதாக எண்ணுவதில்லை.

இசைக் கருவிகள்

தக்க முறையில் தக்க சுர வரிசையில் ஒலிகளை எழுப்பிக் காதுக்கு இனிய இசையை உண்டாக்குவதற்கு இசைக் கருவிகள் பயன்படுகின்றன. இவற்றில் பல விதங்கள் உண்டு. பழங்காலந்தொட்டு யாழ், புல்லாங்குழல், வீணை, தம்பூரா, மிருதங்கம் போன்ற இசைக் கருவிகள் நம்மிடம் பயன்பட்டு வருகின்றன. மேலும் பிடில், ஆர்மோனியம், பியானோ போன்ற இசைக் கருவிகளும் பயன்படுகின்றன.

எல்லா இசைக் கருவிகளுக்கும் இன்றியமையாத பகுதிகள் மூன்று. அவை யாவன: (அ) அதிரும் பாகம் (Vibrating System). இப் பகுதி அதிர்ந்து ஒலி எழுப்புகின்றது. பொதுவாக இந்த அதிரும் பாகம் சுரம் உண்டாக்கிகளையும் ஒத்ததிர்விகளையும் கொண்ட தொகுப்பாகும். (ஆ) இயக்கி (Exciter). இந்த இயக்கும் நுட்பம் ஒலி எழுப்பும் அதிர்விகளை இயக்க வேண்டும். (இ) கையாளப்படும் எந்திர நுட்பம் (Manipula. ting Mechanism). இதைப் பயன்படுத்திதான் சுருதி வரிசையின்

ஒலிகளை எழுப்ப வேண்டும். இம் மூன்று முக்கிய பகுதிகளல்லாமல், நடைமுறையில் ஒலியின் ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்குக் காற்றுத் தம்பங்களையாவது, ஒலிப்பெட்டிகளையாவது பயன்படுத்துவது மரபு.

கீழ்க்கண்ட தனிப் பண்புகளைக் கொண்டு ஓர் இசைக் கருவியை மற்றோர் இசைக் கருவியினின்றும் பிரித்து அறியலாம்: (அ) அக் கருவி எழுப்பக்கூடிய அதிர்வெண்களின் நெருக்கம் (range) அல்லது கருவியின் வரம்பு (compass). (ஆ) கருவியின் இடைவெளித் தொடர்பு அதாவது கருவியின் சுர வரிசை. (இ) கருவி எழுப்பும் சுரங்களின் நயம் (delicasy) (ஈ) சுரங்களின் ஆரம்பத்திலும் முடிவிலும் எழும் இரைச்சல்கள். (உ) தேவைக்கேற்பச் சுரம் நீடிக்கும் காலத்தில் உண்டாகும் தவிர்க்க முடியாத செறிவு மாற்றங்கள். (ஊ) சுரங்களின் பண்புகள். இவைகருவியின் வடிவத்தையும் இயக்கும் முறையையும் பொருத்துள்ளன. (எ) ஒலியின் ஒழுங்கு (melody) நிலவ ஒரு சுரத்தை எழுப்புவதற்கோ அல்லது ஒலியின் ஒருங்கு (harmony) நிலவப் பல சுரங்களை ஒரேசமயத்தில் எழுப்புவதற்கோ கருவிக்குள்ள திறமை.

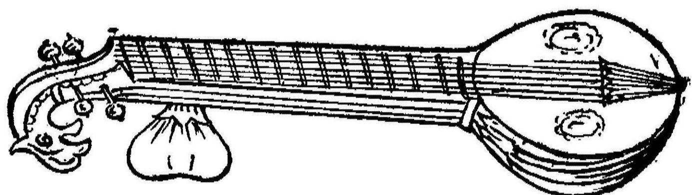
மேற்கூறிய பண்புகளைப் பிரித்தறியும் திறன் காதிற்கு இருப்பதனால்தான் கேட்கும் சுரத்திலிருந்து அச் சுரம் எழுப்பும் ஒலிக் கருவியை, கருவியைப் பார்க்காமலேயே உணரலாம்.

மேற்கண்ட தனிப் பண்புகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு இசைக் கருவிகள் (அ) நரம்பு அல்லது கம்பி இசைக் கருவிகள் stringed instruments), (ஆ) காற்று இசைக் கருவிகள் (wind instruments), (இ) தோல் இசைக் கருவிகள் (percussion instruments) என மூவகையாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன.

நரம்பு அல்லது கம்பி இசைக் கருவிகள் (Stringed Instruments)

நரம்புக் கருவிகளை அவற்றை இயக்கும் முறையைக் கொண்டு மூவகையாகப் பிரிக்கலாம்: (அ) வீணை, கித்தார் போன்ற மீட்டப்படும் (plucked) நரம்புக் கருவிகள், (ஆ) பியானோவைப் போன்ற தட்டப்படும் (strucked) நரம்புக் கருவி, (இ) வயலினைப் போன்ற வில்லால் அதிர்க்கப்படும் (bowed) நரம்புக் கருவி. இசைக் கலைஞர்கள் எதிர்பார்க்கும் வகையில் அல்லாமல் ஓர் இயற்பியல் வல்லுநர் எண்ணப்படி மேற்கண்ட இசைக் கருவிகளை விவரிப்போம்:

வீணை: வீணை மீட்டப்படும் நரம்பு இசைக் கருவி வகையைச் சேர்ந்தது. அரைக் கோள வடிவத்தில் மரத்தால் செய்யப்பட்ட குடம் ஒன்றும், காய்ந்து கூடான சிறிய சுரக்குடுக்கை ஒன்றும் நீண்ட கூடான தண்டு ஒன்றிஞல் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. குடத்திலிருந்து குடுக்கை வரை தண்டின் குறுக்களவு சீராகக் குறைந்து ஒரு யாழின் முகத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குடமும் குடுக்கையும் ஒத்திசைவிகளாக மட்டுமல்லாமல் வீணைக்கு ஆதாரமாகவும் உள்ளன. தண்டின் மேல் பக்கத்தை மூடியுள்ள மரச்சட்டத்திற்குத் 'தண்டிப்பலகை' என்று பெயர். குடத்தின் மேல் பாகம் மரப்பலகையால் மூடப்பட்டுள்ளது. குடத்தின் மேல் தலைப்பகுதியில் ஒரு திருகு முளை பொருத்தப் பட்டுள்ளது. அதனின்று சற்றுத் தள்ளிக் குடத்தின் மேல் தலைப் பகுதியில் ஒரு திருகு முளை பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அதனின்று சற்றுத்தள்ளிக் குடத்தின்மேல் பலகையில் ஒரு குதிரை பதிக்கப் பட்டுள்ளது. குதிரைக்கு அருகில் இரு வட்டங்களைச் சுற்றிக் குடப்பலகையில் சிறுசிறு துவாரங்கள் இடப்பட்டுள்ளன. குடத்திலிருக்கும் காற்று வெளிக்காற்றுடன் தொடர்பு கொள்ள இத் துவாரங்கள் வழி செய்கின்றன.



படம் 75

தண்டிப்பலகையின்மேல் இறுகிய மெழுகைப் பதித்து, அதன்மேல் 24 பித்தளைத் துண்டுகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இவற்றிற்கு மெட்டுகள் (frets) என்று பெயர். தண்டின் பக்கத் தில் குடுக்கையையொட்டி மூன்று முளைகள் உள்ளன. குடத்தில் தலையிலுள்ள முளையில் எஃகால் ஆன 5 கம்பிகளும், பித்தளை யாலான இரு கம்பிகளும் கட்டப்பட்டுள்ளன. இரு பித்தளைக் கம்பிகளும், இரு எஃகுக் கம்பிகளும் தட்டைக் குதிரை, மெட் டுகள் இவற்றின் மேலாகச் சென்று யாழிக் கழுத்தின் இருபுற முள்ள நான்கு திருகு முளைகளில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த முளைகளை இயக்குக் கம்பிகளின் பிகுவை ஏற்றவும், இறக்கவும் செய்யலாம். மேலும், குடத்திலுள்ள முளைக்கும் குதிரைக்கும் இடையில் ஒவ்வொரு கம்பியிலுள்ள சிறு வளையத்தை நகர்த்திக்

கம்பிகளின் பிகுவை நுண்ணிய முறையில் மாற்ற முடியும். எஞ்சிய மூன்று கம்பிகளும் பக்கவாட்டிலுள்ள வளைக்குதிரை யின் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு, குடுக்கையையொட்டியுள்ள மூன்று முனைகளில் கட்டப்பட்டுள்ளன. இம் முனைகளை இயக்கி இக் கம்பிகளின் பிகுவை மாற்றிக்கொள்ளலாம்.

வீணையில் கலைஞரின் வலக் கைவிரல்கள் இயக்கியாகவும், அதிலுள்ள கம்பிகள் அதிரும் பகுதியாகவும் செயல்படுகின்றன. தண்டிப்பலகையின் மேலுள்ள 24 மெட்டுகளும் இயந்திர நுட்பமாகச் செயல்படுகின்றன. குடம், குடுக்கை, தண்டு இவற்றிலுள்ள காற்று இசையின் ஆற்றலைப் பெறுகின்றது. கம்பிகள் சுர வரிசையை எழுப்பப் பயன்படுகின்றன.

வீணையில் இசையின் செழிப்பு அதிகமில்லாவிடினும், இனிமை அதிகமிருக்கும். குடம், குடுக்கை முதலியவை செம்மை யாக ஒத்திசைக்கின்றன. அரைக்கோள வடிவமுள்ள குடம் எழுப்பும் பேரொலி இசையின் இனிமையை அதிகரிக்கின்றது.

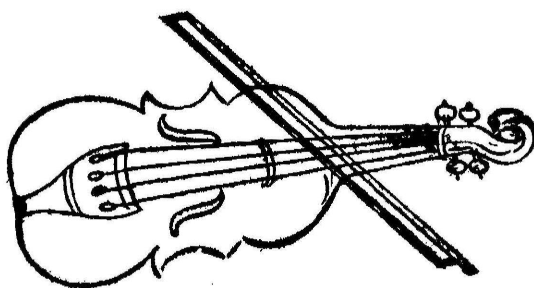
பியானோ (Piono): பியானோ தட்டப்படும் நரம்பு இசைக் கருவி வகையைச் சேர்ந்தது. பல தடிமன்களில் பல நீளங்களில் பல்வேறு கம்பிகள் ஒரு பெரிய எஃகுச் சட்டத்தில் இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளன. பல குதிரைகளின் உதவியால் ஓர் ஒலிப் பலகையுடன் இக் கம்பிகள் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. 7½ கட்டைகள் அளவு வரை 88 சுரங்களைப் பியானோவில் எழுப்ப முடியும். மேலும், ஐந்து கட்டைகளின் ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் மூன்று நரம்புகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. எல்லாக் கம்பி களும் ஒரே நேரத்தில் ஒரு சுத்தியால் தட்டப்பட்டு ஒரே சுருதி யில் மீட்டப்படுகின்றன. கீழ்க் கட்டையின் ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் இரண்டு நரம்புகள் உண்டு. தாழ்ந்த கட்டையின் ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் ஒரு நரம்பு பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

நரம்பில் அதிர்வு உண்டாக்க ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் ஒவ் வொரு சுத்தியல் உண்டு. ஒவ்வொரு சுத்தியலும் ஃபெல்ட் துணியால் மூடப்பட்டிருக்கும். நெம்புகோல் அமைப்பால் ஒவ் வொரு சுத்தியலும் சாவிப்பலகையின் ஒவ்வொரு சாவியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. சாவியை அழுத்தும்போது அதனுடன் தொடர்புள்ள சுத்தியல் நகர்ந்து குறிப்பிட்ட கம்பியைத் தட்டி அதை இயக்கும். இக் கருவியின் இயந்திர நுட்பம் கைவிரல் களால் அழுத்தப்படும் சாவிகளே.

இக் கருவியின் வரம்பு 7½ கட்டை. அதாவது 7½ கட்டை வரை இக் கருவியில் இசை எழுப்பலாம். அதனால் பல சுருதிகளை

ஒரே சமயத்தில் எழுப்பலாம். ஓர் எண்மத்திற்கு 12 இடை வெளிகள் உள்ள சம சுதி சுர வரிசை ஒலிகள் எழுப்பப்படுகின் றன. எழும் ஒலிகள் நீண்ட நேரம் நிலவ அனுமதிக்கப்படுவ தில்லை. தடையிடும் திண்டுகளினால் நரம்புகளின் ஒலியை விரை வில் தணிக்க முடியும். மூன்று திண்டுகள் மிதிப்பலகையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு திண்டு எல்லா நரம்புகளின் ஒலியையும் குறைக்கும். ஒரு திண்டு கீழ்சுரங்களை எழுப்பும் நரம்புகளின் ஒலியைத் தணிக்கும். மூன்றாவது திண்டு சுத்தியல் தாக்கும் நீளத்தைக் குறைத்து வெளிவரும் ஒலியைக் குறைக்கும். இந்த மூன்றாவது திண்டை இயக்கும் மிதிப்பலகைக்கு மெதுவான மிதிப்பலகை என்று பெயர். இதை இயக்கினால் தணிந்த ((Muffled) அல்லது கம்மிய (Veiled) குரல் குணமுடைய ஒலி எழும்.

வயலின் (Violin) : வயலின் வில் கொண்டு அதிர்க்கப்படும் நரம்பு இசைக் கருவி வகையைச் சேர்ந்தது. இதன் அதிரும் பாகம் சுருதியை எழுப்பும் நான்கு கம்பிகள் ஆகும். இதன் உடற்பகுதி இரு ஒலிப் பலகையால் ஆனது. வயிறு எனப்படும் மேல் பலகையில் மையத்தில் மரத்தாலான குதிரை ஒன்று பதிக்கப்பட்டுள்ளது. கீழ்ப்பலகை ஒரு தூணினால் வயிற்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இரு பலகைகளுக்கும் இடைப்பட்ட



படம் 76

உட்குழிவு ஒத்திசைவியாய் அமைகின்றது. மேல் பலகையில் 'S' வடிவத்திலுள்ள இரு துளைகள் ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றை வெளிக்காற்றுடன் தொடர்பு கொள்ளச் செய்கின்றது. ஒத்திசைவியின் ஒரு முனையில் இரு எபொனைட் கால்கள் பொருத் தப்பட்டுள்ளன. கால்களின் முனையில் அழகான யாழி முகம் ஒன்று இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒத்திசைவியின் ஒரு முனையில்

ஓர் எபொனைட் தகடு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. யாழி முகத்திற் கருகில் கால்களின் இரு பக்கங்களிலும் நான்கு திருகு முளைகள் இருக்கின்றன. நான்கு நரம்புகளும் எபொனைட் தகட்டுடன் இணைத்து மரக் குதிரையின்மேல் செலுத்தி அடுத்த முனையி லுள்ள முளைகளில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. முளைகளைத் திருகிக் கம்பிகளின் இழுவிசையை மாற்றிக்கொள்ள முடியும்.

நான்கு நரம்புகளும் அதிரும் பொருள்களாகும். இடக்கை விரல்கள் எபொனைட் தகட்டின் மேலுள்ள நரம்புகளை அமுக்குவது சுரமெழுப்பும் நுட்பமாகும். தட்டையான ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்று இசையின் ஆற்றலைப் பெருக்கு கின்றது. ஒரு வில் இயக்கியாகப் பயன்படுகிறது.

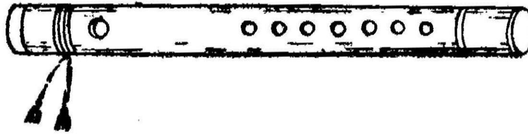
வில், குதிரை முடியாலானது. குதிரை முடிகள் வில்லின் ஒரு முனையிலிருந்து மற்றொரு முனைக்கு நீளவாட்டத்தில் கட்டப் பட்டுள்ளன. வில்லின் கீழ்ப்பாகத்தில் ஒரு திருகு இருக்கின்றது.

அதைத் திருகிக் குதிரை முடியின் பிகுவைத் தேவைக்கேற்ப மாற்றிக்கொள்ளலாம். ரோஸனத்தூளில் வில்லைத் தேய்த்து பிறகு வயலின் நரம்புகளின்மேல் இழுக்க வேண்டும். வில்லால் கம்பிகளை இழுத்து அவற்றில் துடிப்பை ஏற்படுத்த வேண்டும். வில்லால் இழுக்கும் இடத்தை மாற்றுவதாலும் இழுக்கும்போது அமுக்கத்தை மாற்றுவதாலும் இசையின் பண்பை வெகுவாக மாற்றலாம். கம்பியில் ஏற்படும் துடிப்பு, பெட்டியின் வயிறு, குதிரை, பெட்டியிலுள்ள காற்று இவற்றின் வழியே வெளிக் காற்றுக்குப் பரவுகிறது. இவ்வாறாக, இசையின் குணம் வயலினின் பல பாகங்களின் அமைப்பைப் பொருத்திருக்கிறது.

வயலின் வரம்பு மேல்நாட்டு இசையில் 5 கட்டையில் வைக்கிறார்கள். நம் நாட்டில் மூன்று கட்டையில் இசைக்கப் படுகின்றது. இவ் வரம்பிலும் எந்த சுருதியையும் எழுப்பமுடியும். ஒலி நீண்டநேரம் நிலவ இசைக்கப்படுகின்றது. மற்ற இரு வகை நரம்புக் கருவிகளைப் போல் கிளைச் சுரங்கள் தணிக்கப்படாம லிருப்பதால், கிளைச்சுரங்கள் செழுமையுடையவையாக இருக்கும். இக் கருவியில் வீணையில் உள்ள எல்லா நயங்களும் இருக்கின்றன. மேலும் வயலின் இசைக் கருவியில் எழுப்பப்படும் ஒலியெல்லாம் விருப்பப்படி கட்டுப்படுத்தலாம். எனவே, நம் நாட்டிலும் மேல் நாட்டிலும் வயலினுக்குப் பெரு மதிப்பு உண்டு. தில்ருபா, சாரங்கி என்னும் கருவிகளும் வயலின் வகையைச் சேர்ந்த இசைக் கருவி களாகும்.

காற்றிசைக் கருவிகள் (Wind Instruments): காற்று இசைக் கருவிகளைக் காற்றூதப்படும் (wind blown) இசைக் கருவிகள், நறுக்கு (reed blown) ஊதப்படும் கருவிகள் என இரு வகைப் படுத்தலாம். முதல் வகைக்குப் புல்லாங்குழலையும் (Flute), இரண்டாவது வகைக்கு நாதஸ்வரத்தையும் (Nathaswaram) சிறந்த உதாரணங்களாகக் கூறலாம். இரண்டும் புகழ்பெற்ற தென்னிந்திய இசைக் கருவிகளாகும். இப்போது இவற்றின் அமைப்பைக் காண்போம்:

புல்லாங்குழல் (Flute): குறைந்த உட்கூடுள்ள சீரான மூங்கிற் குழாயினுல் புல்லாங்குழல் செய்யப்படுகின்றது. குழாயின் ஒரு முனை மூடியும், மறுமுனை திறந்துமிருக்கும். மூடிய முனையை யொட்டிப் பக்கவாட்டில் ஒரு சிறு துளை இடப்பட்டுள்ளது. இதற்கு வாய்த்துவாரம் என்று பெயர். இத் துளையினின்று சிறிது தள்ளி ஒரே நேர்க்கோட்டில் 7 அல்லது 8 துவாரங்கள் இடப்பட்டுள்ளன. இவையெல்லாம் ஒரே அளவுள்ளவை யாகவும், வாய்த்துவாரத்தைவிடச் சற்று சிறியவையாகவும் இருக்கும். இவற்றிற்கு விரல் துவாரங்கள் என்று பெயர்.



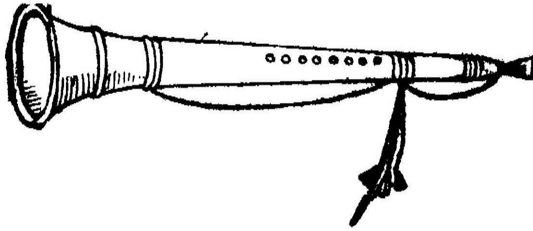
படம் 77

வாய்த்துளை வழியே கலைஞர் ஊதிச் செலுத்தும் காற்றுப் படலந்தான் இக் கருவியின் இயக்கியாகச் செயல்படுகின்றது. குழாயினுள் உள்ள காற்று மண்டலம் அதிரும் பொருளாகப் பயன்படுகின்றது. விரல் நுனிகள்தான் இயந்திர நுட்பமாகும்.

வாய்த்துளையை உதட்டை ஒட்டிப் பதித்துக் காற்றை அத் துளை வழியே குழாயினுள் ஊத வேண்டும். வலக்கையின் மூன்று விரல்களும், இடக்கையின் நான்கு விரல்களும் விரல் துவாரங் களின்மீது பதிந்திருக்க வேண்டும். வேண்டிய அளவில் காற்றை ஊதும்போது, காற்று குழலின் உள்ளும் புறமும் அசையும். அதனுல் காற்றில் துடிப்பேற்பட்டு, அந்த அதிர்ச்சியைக் குழாயி லிருக்கும் காற்று அதிகப்படுத்தி வெளிக்காற்றில் அலைகள் உண் டாகி, குழலிசை எழும். திறந்த முனையிலும் வாய்த்துவாரத்தி னருகிலும் எதிர்க்கணு அமையும். விரல் துளைகளை விரல்

நுனிகளால் மூடித்திறந்து சுர வரிசையின்படி ஒலி எழுப்பலாம். துளைகளைச் சிறிது திறந்து வேண்டிய சுரத்தை உண்டு பண்ண லாம். ஒலி நிலைத்திருக்குமளவு இசையை எழுப்ப இயலும். இக் கருவியின் இசை வரம்பு மூன்று கட்டையைவிடச் சிறிது குறைந் திருக்கும். சீராகக் காற்றை ஊதிச் சுய சுரத்தை எழுப்பலாம். ஒலியின் உரப்பெல்லாம் பெரும்பாலும் ஆதாரச் சுருதியையே சாரும். மேல்சுரங்களின் சேர்க்கை மிகக் குறைவு. அவற்றின் செறிவும் பலமற்றுள்ளது. ஆனால் எண்மம் மட்டும் சிறிது ஓங்கி நிற்கும்.

நாதஸ்வரம் (Nathaswaram): நாதஸ்வரம் புகழ்பெற்ற ஒரு தென்னிந்திய இசைக் கருவியாகும்; இசைச் சுர வரிசையை விரி வான முறையில் ஒழுங்கிசைக்கும் சிறந்த கருவி. இது மரத்தி னால் செய்யப்பட்ட நீண்ட கூருருளை வடிவத்திலுள்ள குழா யாகும். குறுகிய முனையில் இரட்டைச் சீவாளிகள் (reeds) பொருத்தப்பட்டுள்ளன. சீவாளி இரு மெல்லிய பிரம்பு பிளாச்சை



படம் 78

இணைத்துச் செய்யப்பட்டது. சீவாளிகளுக்கிடையில் வெளிப் புறம் சிறு துவாரம் இருக்கும். குழாயின் அகன்ற முனை புனல் போன்ற வடிவத்தில் இருக்கும். குழாயின் பக்கவாட்டில் 12 துளைகள் உள்ளன. சீவாளி பொருத்தும் நுனியின் அருகிலிருந்து 7 துளைகள் ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கும். இவை விரல் துளை களாகும். புனலின் அருகில் 5 துளைகள் உள்ளன.

சீவாளி அதிர்வு இயக்கியாகும். காற்றைச் சீவாளித் துவாரம் வழியே ஊதினால் அவை அடிக்கடி திறந்து மூடும். அப்போது நறுக்கோசை (reed tone) உண்டாகக் குழாயிலுள்ள காற்றுத் தம்பம் அதிர்வுறுகின்றது. இரு அதிர்வுகளும் இணைகின்றன. ஆனால் குழாயிலுள்ள காற்றுத்தம்பத்தின் அதிர்வே ஓங்கி நிற்கும். எனவே, எழும் இசையின் சுருதி காற்றுத்தம்பத்தின்

சுருதியையே தழுவி நிற்கும். ஆகையால், குழாயிலுள்ள காற்றுத் தம்பமே முக்கியமாக அதிரும் பொருளாகக் கொள்ளலாம். விரல் துளைகளை மூடித் திறப்பதே இயந்திர நுட்பமாகும்.

சீவாளியை உதடுகளுக்கிடையில் வைத்து நறுக்குத் துளை வழியே காற்றை ஊதி, விரல் துளைகளை மூடித் திறந்து, ஊதும் வேகத்தையும் மாற்றி இசையெழுப்பப்படுகின்றது. புனலையொட்டியுள்ள 5 துளைகளும் இசையின் சுருதிகளை எண்மத்தின் மையத்திலிருந்திக்கொள்ளப் பயன்படுகின்றன. எழுப்பப்படும் இசை பல மேற்சுருதி சுரங்கள் அடங்கியுள்ளதாயும், வளமுள்ளதாயும் இருக்கும். இம் மேற்சுரங்களில் இரண்டாவதும் மூன்றாவதும் ஆதாரச் சுருதியைவிடப் பலமுள்ளவையாயிருக்கும். இந் நாதஸ்வரத்தின் நரம்பு 3 கட்டையைத் தாண்டியிருக்கும்.

குழாயின் திறந்த நுனியிலுள் புனல் அதிகமான திண்மக் கோணத்தில் (Solid Angle) ஒலியைப் பரப்புகின்றது. கடைசி விரல் துளையிலிருந்து புனலின் திறந்த நுனி வரை குழாய் ஒரு கொம்புபோல் செய்யப்பட்டு வீச்சுத் தடையை அளிக்கின்றது. இதனால் ஒலியின் செறிவு அதிகரித்து, இசை ஒலி நீண்ட தூரம் கேட்கின்றது.



படம் 79

ஆர்கன் குழாய் (Organ Pipe) :

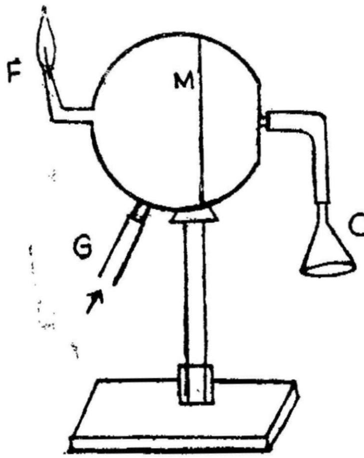
ஆர்கன் குழாய் மரத்தினாலான செவ்வகக் குறுக்களவுள்ள நீண்ட குழாயாகும். இதன் மேல் நுனி திறந்தோ அன்றி மூடியோ இருக்கும். இதன் கீழ் நுனியில் குறுகியதோர் ஊது துளையுள்ள சிறிய பெட்டியமைப்பு ஒன்று இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஊது துளை A-யின் வழியே காற்றை ஊதினால் B என்னும் அறைக்குள் காற்று செல்கிறது. அறையினின்று சரிவோரப் பாதையில் மோதிக் கூர்மையான படலமாகப் பிரிகின்றது இக் கூர்மையான காற்றுப்படலம் குழாய்க்குள் சென்று குழாயிலுள்ள அழுத்தத்தை அதிகரிக்கின்றது. குழாயில் தளர்த்தியேற்றப்படும்போது இக் காற்றுப்படலம் வெளியே பாய்ந்து அழுத்தத்தைக் குறைக்கின்றது. இவ்வாறு காற்றுப்படலம் மாறி

மாறி உள்ளேயும் வெளியேயும் பாய்வதால், இஃது ஓர் சீரிசை இயக்கத்திற்குள்ளாகிறது. இவ்வழுத்த ஏற்றமும் இறக்கமும் ஒலியையெழுப்ப, ஒலி தொடர்ந்து எழும்பிக்கொண்டேயிருக்கும். ஊதும் காற்றின் அழுத்தத்தை அதிகரித்து மேற்சுரங்களையும் எழுப்பலாம். ஆர்கன் குழாயில் எழும் அதிர்வு வகைகளைக் கீழ்க்காணும் சோதனையின்மூலம் தெளிவாக விளக்கலாம்:

சோதனை (அ) : கீழ்க்காணும் எளிய முறையில் ஆர்கன் குழாயில் தோன்றும் கணுக்களையும் எதிர்க்கணுக்களையும் கண்டு பிடிக்கலாம் :

நுண்ணிய லிகோபோடியம் துகள்களைக் கொண்ட ஒரு சிறு தட்டு பட்டு இழையில் கட்டிக் குழாயினுள் தொங்கவிடப் பட்டுள்ளது. ஊதல்மூலம் குழாயினுள் காற்றை ஊதித் தட்டை மெதுவாகக் கீழே இறக்க, எதிர்க்கணுக்கள் தோன்றும் இடங்களில் துகள்கள் அதிகம் துடித்து எழும். கணுக்கள் தோன்றும் இடங்களில் துகள்கள் துடிப்பின்றித் தட்டினுள் அடங்கியிருக்கும்.

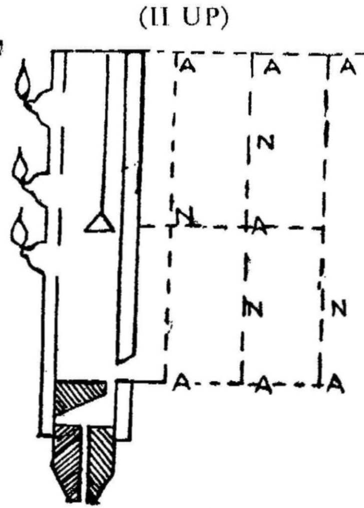
சோதனை (ஆ) : அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர் (Manometric Flame) அல்லது அழுத்த வேறுபாட்டு மென்தோல் (Manometric Capsule) என்னும் கருவி கொண்டும் ஆர்கன் குழாயினுள் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாட்டு இசையொலியைக் காணலாம். கோள வடிவுள்ள அறையை ஒரு மென்தோல் (M) இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கின்றது (படம் 80). ஒரு பகுதி இரப்பர்க் குழாயினால் ஒரு புனலுடன் (C) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. அடுத்த பகுதியில் G என்னும் குழாய் வழியாய்க் கரி வாயுவைப் பெற்று, F என்னும் சுடர் எரிய வகை செய்யப்பட்டுள்ளது. புனலின் வாயருகில் ஒலியெழுப்பினால், அவ்வொலி மென்தோல்மேல் மோதுகிறது. இதனால் ஏற்படும் அழுத்த மாற்றத்தால் மென் தோல் அதிர்வுறுகிறது. அந்த அழுத்த மாற்றம் அடுத்த



படம் 80

பகுதியில் பாய்ந்து சுடரைத் துடிக்கச் செய்யும். ஒரு சுழலாடியின் உதவியால் சுடரின் துடிப்பைக் காணலாம். இதிலிருந்து அறையிலேற்படும் காற்றழுத்த மாற்றத்தை அறியலாம். படத்தில் காட்டியபடி ஆர்கன் குழாயின் பல இடங்களில் சுடர் விளக்குகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. சுடர் விளக்கின் அறையிலுள்ள கரி வாயுவையும் ஜவ்வு தடுத்துப் பிரிக்கின்றது. திறந்த குழாயாக இருந்தால், திறந்த நுனியும் குழாயின் வாயும் எதிர்க்கணுக்களை ஒத்திருக்கின்றனவென்பது சுடரின் அமைதியிலிருந்து நன்கு விளங்கும். குழாய் தனது ஆதாரச் சுருதியை ஒலிக்கும்பொழுது குழாயின் மையம் ஒரு கணுவை ஒத்திருக்கும்.

சற்று வேகமாக ஊதினால் இரண்டாவது மேல் சுரம் (II UP) ஆதிக்கமடைகின்றது. அப்போது கணுக்களும் எதிர்க்கணுக்களும் இரண்டாவது பத்தியிலிருப்பது போல் அமைகின்றன. இது போலவே 3-வது, 4-வது மேல் சுரங்களையும் கண்டுபிடிக்கலாம். திறந்த குழாயில் எல்லா மேல் சுரங்களும் ஒலிக்கின்றன. ஆனால் ஒரு பக்கம் மூடப்பட்ட குழாயின் மூடப்பட்ட நுனி எப்பொழுதும் கணுவாகத்தானிருக்கும். குழாயின் வாய் முன் போலவே எதிர்க்கணுவை ஒத்திருக்கும். வேகமாக ஊதினால் 3-வது 5-வது முதலிய ஒற்றைப்படை மேல் சுரங்கள் மாத்திரம் ஆதிக்கமடைகின்றன. இரட்டைப்படை மேல் சுரங்களைக் காண முடியாது. எனவே, மூடிய குழாயில் ஒற்றைப்படை மேல்சுரங்கள் மட்டும் எழுகின்றன.



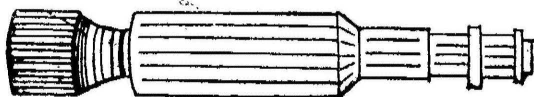
படம் 81

ஆகையால், திறந்த குழாயில் எழும் ஓசைகள் மூடிய குழாயில் எழும் ஓசைகளைவிட வளமாகவும் இனிமையாகவுமிருக்கும். மேலே கூறிய உண்மைகள் குறுகிய ஆர்கன் குழாய்களுக்கே பொருந்தும்.

கால்ட்டன் ஊதல் (Galton's Whistle)

கால்ட்டன் ஊதலை ஒரு சிறிய அளவிலுள்ள ஆர்கன் குழாயாகக் கருதலாம். கால்ட்டன் ஊதல் உலோகத்தாலான

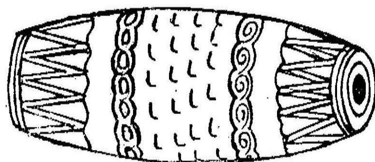
குட்டையான உருளை வடிவமுள்ள குழாய் ஆகும். ஒரு பக்கம் மூடப்பட்டு மறுபக்கம் ஒரு திருகு தண்டும் (screw piston), அதனுடன் ஒரு மைக்ரோமீட்டரும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. திருகை இயக்கித் திருகு குழாயின் நீளத்தை மாற்ற முடியும். இதனால் குழாயிலுள்ள காற்றுத்தம்பத்தையும், அது எழுப்பும் சுரத்தையும் மாற்றலாம். மைக்ரோமீட்டரின் பதிவைக்



படம் 82

கொண்டு அதன்மேல் உள்ள அளவுகோலின் உதவியால் ஒலியின் சுருதியை அறியலாம். காது கேட்கும் எல்லையைத் தாண்டிய மிக அதிக அதிர்வெண்ணுள்ள ஒலிகளை எழுப்ப கால்டன் ஊதல் பெரிதும் பயன்படுகின்றது. இந்த ஊதலிலிருந்து வரும் ஒலிகளையும் உணர்வுச்சுடர்களைக் கொண்டு கண்டறியலாம்.

மிருதங்கம்: இது ஒரு தோல் இசைக்கருவியாகும். இசைக்குத் தாளம் போடும் ஒரு பக்க வாத்தியமாக இது பயன்படுகின்றது; இரு புறமும் குறுகிய உருளை வடிவில் அமைந்திருக்கும். குறுகிய இருபக்க வாய்களும் தோலால் மூடப்பட்டிருக்கும். இத் தோல்கள் வார்களினால் இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளன. இவ் வார்ப்பட்டைகளுக்கிடையில் புகுத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கும் சிறு மரத்துண்டுகளை உருட்டி வாய்த் தோல்களின் பிகுவை மாற்றலாம். இதனால் தோலைத் தட்டி அதனின்று எழும் ஒலியின் சுருதியை மாற்றலாம்.



படம் 83

வலப் பக்க வாய்த்தோல் பொது மையம் கொண்ட இரு தோல்களால் ஆனது. வெளி வளையம் மாட்டுக் கன்றின் தோலினாலும், உள் வளையம் ஆட்டுத் தோலினாலும் ஆனவை.

வில்லையான (disc) மையப்பகுதி பசு மாட்டுத் தோலினாலானது. மைய வில்லையின்மேல் இரும்புத் தூள், சோறு, புளிச்சத்து முதலியவற்றைக் கலந்து செய்யப்பட்ட சாந்து பூசப்பட்டுள்ளது. இச் சாந்து இறுகிப் பளுவாகவும் பளப்பளப்பாகவும் இருக்கும். இடப் பக்கத்து வாய்த்தோல் பொது மையம் கொண்ட இரு தோல் வளையங்களாலானது. வெளிவட்டம் எருமைத் தோலினாலும் உள்வட்டம் ஆட்டுத் தோலினாலும் செய்யப்பட்டவை. கருவியை ஒலிப்பதற்கு இதன் மையத்தில் ரவை மாவைத் தண்ணீரில் பிசைந்த பசையைத் தடவி, அதன் சுருதியை இறக்கிக் கொள்ளவேண்டும். வாசிப்பவர் விரல்களால் தோலில் தட்டி ஒலி எழுப்புவர்; தோல்களை அடிக்கடி அழுத்திப் பிகுக்களை மாற்றி இசைக்கு மெருகு கொடுப்பர். உருளையினுள் அடங்கியுள்ள காற்று ஒலியின் ஆற்றலைப் பெருக்கும். மெதுவாகத் தட்டினால் வலப்பக்கத்திலுள்ள வட்டங்களும் வில்லையும் ஷட்ஜமம், பஞ்சமம், எண்மம் போன்ற 3 சுருதிகளையும் எழுப்பும். இடப் பக்கத் தோலிலிருந்து ஆதாரச் சுருதியிலிருந்து ஓர் எண்மம் குறைவான ஒலி எழும்.

மனிதக் குரல் (Human Voice)

வாய்பாட்டிற்கான மனிதக்குரலின் (அ) குரலியக்கி, (ஆ) அதிரும் பொருள்கள், (இ) கையாளப்படும் இயந்திர நுட்பம், (ஈ) ஒத்திசைவிகள் அல்லது ஒலி பெருக்கும் உறுப்புகள் முதலியவற்றை முதலில் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

நெஞ்சிலிருந்து கிளம்பும் காற்றுப்படலந்தான் இயக்கியாக அமைகின்றது. இக் காற்றுப்படலம் சுவாசக்குழாய்களின் வழியே குரல் நாண்களுக்குச் செல்கின்றன. இந்த நாண்கள் பேசும் உறுப்பாகிய லாரிங்ஸில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இக் குரல்நாண்கள்தான் அதிரும் பொருள்களாகும். குரல்நாண்களை அடக்கி இயக்கப் பயன்படும் நரம்புகளும் தசைகளுந்தான் இயந்திர நுட்பங்கள். லாரிங்ஸிலுள்ள காற்றுப் பொந்துகள் தான் ஒத்திசைவிகள்.

பேசும்பொழுது சுயேச்சையாயுள்ள தோற்குழலிகளான குரல்நாண்கள், நெருங்கிக் குறுகியதொரு பிளப்பை (narrow slit) ஏற்படுத்துகின்றன. பிளப்பின் அகலமும், நாண்களின் இழுவிசையும் நரம்புகளாலும் தசைகளாலும் மாற்றப்படுகின்றன. அதனால் பேச்சொலிகள் எழுகின்றன. நுரையீரலிலிருந்து வரும் காற்றுப்படலத்தின் வலுவும் இதற்கு உதவி புரிகின்றது. குரல்நாண்களிலிருந்து வெளியாகும் காற்றோடைகள்

அமைக்கும் சுழிப்பியக்கங்கள் (Vortex Motion) ஒத்திசைந்து, பேச்சொலியின் ஆற்றலைப் பெருக்கி அதை நீடிக்கின்றன.

பொதுவாகக் கீச்சொலி எழுப்பும் குரல்நாண்களைவிடத் தாழ்ந்த ஒலி எழுப்பும் குரல்நாண்கள் நீளமாக இருக்கும். ஆண்களின் குரல்நாண்கள் பெண்களின் குரல்நாண்களைவிடச் சுமார் 1½ மடங்கு அதிக நீளமுள்ளவையாயிருக்கும். எனவேதான் ஆண்களின் குரல்களைவிடப் பெண்களின் குரல்கள் கூர்மையாக இருக்கின்றன.

வினாக்கள்

1. ஒலிச்செறிவு, ஒலி உரப்பு இவற்றை வரையறுத்துக் கூறுக.

2. இசையொலி, இரைச்சல் இவற்றின் வேறுபாடுகள் யாவை ?

3. இசையொலியின் பண்புகள் யாவை ? இவற்றின் காரணக் கூறுகள் என்ன ?

4. டயட்டானிக் சுர வரிசையை விளக்கிக் கூறுக.

5. இசைக் கருவிகளின் தனிப் பண்புகள் எவை ? இசைக் கருவிகளின் முக்கியமான மூன்று தேவைகள் என்ன? அவற்றை எத்தனை வகைகளாகப் பிரிக்கலாம் ?

6. ஏதேனும் ஓர் இசைக் கருவியை விவரித்து விளக்குக.

7. சரிசம சுருதி சுர வரிசை என்றால் என்ன ? அச் சுர வரிசை எவ்வாறு அமைக்கப்படுகின்றது ?

8. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குக் குறிப்பு வரைக:
   (i) கால்ட்டன் ஊதல்,
   (ii) ஆர்கன் குழாய்,
   (iii) சுருதி மட்டுப்பாடு,
   (iv) கூட்டோசை,
   (v) ஒத்திசையும், ஒவ்வா இசையும்,
   (vi) விம்மலோசைகள்,
   (vii) மில்லரின் போனோடிக்,
   (viii) எதிர்மின் கதிர் அலை வரைவி.

10. தொழில் நுட்ப ஒலியியல்

(Technical Acoustics)

கட்டட ஒலியியல் (Acoustics of Buildings)

உலகில் பல்வேறு அமைப்புகளில் பல்வேறு கட்டடங்கள் கட்டப் பெறுகின்றன. மக்கள் வாழ்வதற்காகவும், அலுவலகங்களுக்காகவும், கல்விக்கூடங்களுக்காகவும், சட்டசபை பாராளுமன்ற அவைக்கூடங்கள், நாடக மேடை, பேசும்பட அரங்குகள், இசை அரங்கு, ரேடியோ நிலையங்கள் முதலியவற்றிற்காகவும் கட்டடங்கள் அமைக்கப்படுகின்றன. இப் பல்வேறு துறை கட்டடங்களுக்கும், அவற்றின் செயல்பாட்டிற்கேற்ப ஒலியியல் தேவைகள் மாறுபடலாம். கட்டடக் கலையில் ஒலியியல் ஒரு சிறந்த அங்கமாகும். எனவே, சமீப காலங்களில் பேரவை அரங்குகள், நாடக மேடைகள், ஸ்டுடியோ முதலியவற்றை உருவாக்கு முன் பல ஒலியியல் தன்மைகள் ஆராய்ந்து அறியப் படுகின்றன. ஒலியலைகளின் தன்மை, திறந்த வெளியிலிருப்பதற்கும், அறை போன்ற அடைப்பிடத்திலிருப்பதற்கும் முற்றிலும் மாறுபட்டிருக்கும். திறந்த வெளியை எல்லையற்ற ஊடகமாகக் கருதலாம். எனவே, ஒலியலைகள் ஒலி மூலத்திற்குத் திரும்பி வரா. அதனால் ஒலி மூலத்தையே மிகவும் சிறியதாக எடுத்துக்கொள்ளலாம். மாறாக, அடைபட்ட ஓர் இடத்தில் ஓர் ஒலி மூலம் ஒலியை எழுப்பினால், ஒலி அலைகள் அடைப்பின் எல்லைகளின் பல்வேறு இடங்களில் பிரதிபலிக்கப்பட்டு, ஒலியின் ஆற்றல் முழுதும் உட்கவரப்படும் வரை அறையில் நிலைத்து நிற்கும். மேலும், ஒலி மூலத்தைச் சிறியதாக எண்ண முடியாததோடல்லாமல், அது திசையியல்புடையதாகவுமிருக்கும். எனவே, ஒலியின் பங்கீடு ஒரே சீராக இராது.

கலையரங்குகளிலும், இசையரங்குகளிலும் நாம் பொதுவாகக் காணும் குறைகள் (அ) ஒலி எதிர்முழக்கம் (Reverberation), (ஆ) எதிரொலிகள் (Echoes), (இ) ஒவ்வாத ஒத்திசைவுகள், (ஈ) வேண்டாத குறுக்கீடுகள் (Interferences), (உ) தேவையில்லா இரைச்சல்கள் முதலியன. இக் குறைகளின் காரணங்களைக் கண்டு அவற்றை நீக்குவதற்கு முயற்சிகள் எடுக்கப்படுகின்றன. நுட்பமான ஆய்வுகளின்மூலம் செயல்

முறை விதிகளை நிர்ணயிக்க முடிவதாலும், கட்டடப் பொருள் களின் உட்கவர் (Absorption) குணங்கள், ஒலிகாப்புக் குணடங்கள் (Insulators) முதலியவை சரிவர அளக்கப்படு வதாலும், கட்டடங்களைக் கட்டுவதற்கு முன்னரே அவற்றின் அமைப்பும், சிறப்பும் திட்டமிட்டுத் தீர்மானிக்கப்படுகின்றன.

ஒலியின் ஆக்கமும் அழிவும்

ஓர் அறையினுள் ஒலியை எழுப்பினால் அறையின் உட்கூரை, சுவர்கள், தரை, எல்லா இடங்களிலும் ஒலி பிரதிபலிக்கப்படு கின்றது. ஒலி முழுதும் உட்கவரப்பட்டு, நம்மால் கேட்க முடியாத அளவு வலிவிழப்பதற்குள் சுமார் 100 பிரதிபலிப்புகள் அடைகின்றது. ஆகையால் தொடர்ந்து இயங்கும் ஓர் ஒலி மூலம் ஒலியை எழுப்ப, அதன் செறிவு படிப்படியாக அதிகரித்து இறுதியில் செறிவின் மதிப்பு மாறிலியாகிறது. அப்பொழுது உட்கிரகிக்கப்படும் ஒலி ஆற்றலின் அளவும், தோற்றுவிக்கப் படும் ஒலி ஆற்றலின் அளவும் சமமாகும். இதே முறையில் ஒலி மூலம் ஒலி எழுப்புவதை நிறுத்தினாலும், ஒலிச்செறிவு படிப் படியாகக் குறைந்து அழிவுறும். எனவே, அடைப்பிடத்தில் ஒலியின் வளர்ச்சியையும், தேய்வையும் கீழ்க்கண்ட நிபந்தனை களைக் கருத்தில் கொண்டு கணக்கிடலாம்:

(அ) மூலத்தின் ஒலி வெளியீட்டு விகிதம், ஒரு மாறிலி யாகவும், அடைப்பிடத்தில் ஆற்றலடர்த்தியின் சார்பில்லா மலும் இருக்கும்;

(ஆ) ஆற்றல் பங்கீடு நிலைத்து எல்லாத் திசைகளிலும் ஒலி சமமாகப் பரப்பப்படுகின்றது;

(இ) ஒலியலைகளின் மேற்பொருந்து விளைவு தள்ளத்தக்கது;

(ஈ) அடைப்பின் எல்லைகளில்தான் ஒலி உட்கவரப்படு கின்றதேயன்றிக் காற்றில் ஒலி விரயமாகாது;

(உ) ஒலி உட்கவர் எண் ஒலிச்செறிவைச் சார்ந்திருக்காது.

இவ் விதிகளைக் கருத்தில் கொண்டு சபைன் (Sabine) என்ற அமெரிக்க நாட்டுப் பேரறிஞர் ஒரு கட்டடம் சிறப்பாக அமைய முக்கிய தேவைகளை ஆராய்ச்சியின்மூலம் வரையறுத்துள்ளார். அவை (அ) கட்டடத்தின் எல்லாப் பகுதியிலும் ஒலி உரப்பாக இருக்க வேண்டும். (ஆ) ஒலியின் பண்பு மாறாதிருக்க வேண்டும். (இ) அடுத்தடுத்து வரும் ஒலிகள் கலக்காமல், வெளி இரைச் சலுடனும் கலக்காமல் தனித்தனியே இருக்க வேண்டும். (உ) ஒலியைத் தொடர்ந்து கேட்பதற்கு வேண்டிய அளவிற்கு

மேல் எதிரொலி இருக்கக் கூடாது. (ஊ) கட்டடத்தின் எப் பொருளாலும் பேச்சொலிகள் பலப்படுத்தப்படக் கூடாது. (எ) கட்டடத்தின் எப் பகுதியிலும் ஒலி குவிதலும், ஒலி குறைதலும் அதிகமாக இருக்கக் கூடாது. எல்லாக் கட்டடங்களுக்கும் எல்லா நிபந்தனைகளும் தேவைப்படாமலிருக்கலாம். ஒரு கட்டடம் எந்த உபயோகத்திற்காகக் கட்டுப்படுகின்றதோ அதற்கேற்ப மேற் கூறிய நிபந்தனைகளின்படி கட்டடத்தை அமைக்க வேண்டும்.

இக் கட்டடக் கலையை ஒலி நுட்ப முறையில் ஆராயும் பொழுது நம் நாட்டுப் பழங்காலக் கலைஞர்களை நினைவு கூர்வது சாலப்பொருந்தும். காஞ்சி மன்னர்களுக்காகப் பல கலையரங்கு களைக் கட்டிய பல்லவ நாட்டுச் சிற்பிகளும், நம் நாட்டில் மிகச் சிறந்த அரங்குகளில் ஒன்ருக விளங்கும் தஞ்சை சங்கீத மகாலைக் கட்டிய கலைஞர்களும் சிறந்த விஞ்ஞான நுணுக்கங்களை உணர்ந்த வர்களாக விளங்கியுள்ளார்கள். இவர்கள் கையாண்டுள்ள நுணுக் கங்களை ஆராயும்பொழுது மேனுட்டு விஞ்ஞானிகள் இப்பொழுது ஆராய்ந்தறியும் முறைகளை நம் முன்னோர்கள் ஆயிரம் ஆண்டுக ளுக்கு முன்னரே அறிந்திருந்தார்கள் என்பது தெளிவாகும். மேலும், நமது சிற்ப சாஸ்திரங்களில் இக் கலையைப்பற்றி விரி வான விளக்கங்கள் தரப்பட்டுள்ளன.

இனி எதிரொலி, எதிர்முழக்கம், ஒத்திசைவு, வேண்டாக் குறிக்கீடு இவற்ருல் ஏற்படும் இடர்ப்பாடுகளையும், அவற்றை வேண்டிய அளவு நீக்கிக் கட்டடங்களின் ஒலியியலை எப்படிச் சிறப்பாக்கலாம் என்பதையும் காண்போம்.

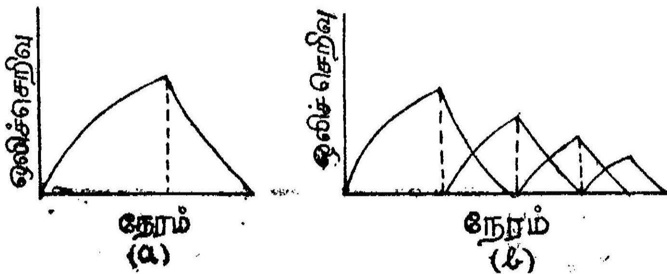
எதிரொலிகள்

அரங்கில் எழுப்பப்படும் ஒலி, தூரத்திலுள்ள சுவர்களிலும், மற்றப் பொருள்களிலும் பட்டு பிரதிபலித்து முதலொலி அடங் கியவுடன் வந்து சேருவதற்குத்தான் எதிரொலி என்று பெயர். பெரிய அரங்குகளில் இவை அதிக தொல்லை கொடுக்கும். சுவர்கள் சுரசுரப்பாகவும், வெளிப்பக்கம் சாய்ந்திருக்கும்படியும் செய்து பிரதிபலிக்கும் ஒலிகளைப் பல்வேறு திசைகளில் திருப்பி விட்டு எதிரொலியைத் தவிர்க்கலாம். மேலும், அரங்கு நிறைந் திருந்தாலும், கட்டடத்தில் ஜன்னல்களும், கதவுகளும் அதிக மிருந்தாலும் எதிரொலி மறையும். ஆனல், இசைக்கூடங்களில் இசையின் பலத்தை உயர்த்தச் சிறிது எதிரொலி அவசியம் தேவை. அதனுல் அரங்கின் கூரைகளைத் தாழ்வாகவும், பளபளப் பாகவும் வைத்துக்கொள்வது உண்டு. கூரைகள் உயர்வாக இருந்தால், ஒலி அவற்றில் பட்டுத் திரும்பி வருவதற்குள் அழிந்துவிடும். ஆதலால், ஒலி தடையுற்றுக் கேட்கும்.

எதிர்முழக்கம்

ஓர் இடத்தில் எழுப்பப்படும் ஒலி எல்லாத் திசைகளிலும் பரவும். இவ்வொலி பலமுறை பிரதிபலிக்கப்பட்டு வீச்சு குறைந்துகொண்டே வரும். இவை தொடராகக் காதில் விழுந்து இறுதியில் கூரை, சுவர், காற்று இவற்றின் உராய்வினால் சிறிது சிறிதாகத் தேய்ந்து அடங்கி விடுகின்றன. இதன் விளைவாக முதல் ஒலி கேட்டவுடன் ஒலி புரண்டு, சிறிது நேரம் செவியில் பதிந்து பிறகு கேள்வி எல்லைக்குக் கீழே அடங்கி அழிந்துவிடும். இதற்குத்தான் எதிர்முழக்கம் என்று பெயர். இக் குழப்பம் நீங்க எடுக்கப்படும் நேரம் எதிர்முழக்க நேரம் எனப்படும்.

ஒலி தொடர்ந்து எழுப்பப்பட்டால் ஒலி ஆற்றல் வெளிவரும். அதே சமயத்தில் மேலே கூறிய காரணங்களினால் ஒலி, சேதமும் அடைகின்றது. ஒரு கட்டடத்தில் உருவாகும் ஆற்றலும், சேதப்படும் ஆற்றலும் சமமாகி, கேட்கும் ஒலி ஒரு நிதான நிலையை அடைகின்றது. இப்போது ஒலி எழுப்புவதை நிறுத்திவிட்டால், ஒலிச் செறிவு முதல் படத்தில் காட்டியுள்ளதைப்போல் சரிந்துவிடும். அல்லாமல் பல ஒலித் துடிப்புகளைத் தொடர்ந்து அனுப்பினால், அதன் விளைவு படம் b-ல் காட்டியுள்ளதைப்போல் இருக்கும். இதைப் பார்க்கும்போது ஓர் ஒலத்துடிப்பு அழிவது அடுத்த துடிப்பு எழுவதற்கு இடையூறாக இருப்பதில்லை என்பது புலனாகும்.



படம் 84

கும். ஒலி கேட்க முடியாத நிலைக்கு அடங்குவதற்குள் சுமார் 250 பிரதிபலிப்புகள் நிகழ்வதாகக் கணக்கிட்டுள்ளார்கள். எதிர் முழக்க நேரத்தை $T = kv/as$ என்னும் சமன்பாட்டால் சபைன் கணக்கிட்டார். v என்பது அரங்கின் பருமன். a என்பது கட்டடப் பொருள்களின் உட்கவர் எண் (absorption coefficient). s என்பது கட்டடத்தின் பரப்பளவு. k என்பது 0·05 மதிப்புள்ள மாறிலி.

மேலும், ஒலி எங்கு எழுப்பப்பட்டாலும், கேட்பவர் எங்கிருந்தாலும் எதிர்முழக்க நேரம் மாறவில்லை என்றும் கண்டுள்ளார்; 4·5 ச. அடி பரப்புள்ள திறந்த ஜன்னலை உட்கவர் எண்ணை அளப்பதற்கு அலகாகக் கொண்டு, பிற பொருள்களின் உட்கவர் எண்ணைகளை அளந்தார்; அதன்படி மேற்சொன்ன திறந்த ஜன்னலுக்கு உட்கவர் எண் 1·0 ஆகவும், கண்ணாடி போன்ற கடினப் பொருளுக்கு 0·01 வரை மாறுவதாகவும் கண்டுபிடித்தார். இக் கணக்கீட்டின்படி அரங்கிலுள்ள ஒவ்வொருவரும் ஒரு திறந்த ஜன்னலுக்குச் சமன் எனத் தெரிய வந்தது.

வெவ்வேறு அளவுள்ள பல அறைகளின் எதிர் முழக்க நேரத்தைச் சபைன் கண்டுபிடித்தார்; இசை வல்லுநர்களைக் கலந்து பேச்சொலி, இசையொலி இவற்றிற்கேற்ற எதிர்முழக்க நேரத்தைக் கண்டுபிடித்தார். அறையின் பருமனுக்கும், ஒலியின் பண்புக்கும் தக்கவாறு எதிர்முழக்க நேரம் மாறுபடுவது தெரிய வந்தது. தேவையான எதிர்முழக்க நேரம் 1·0 விநாடியிலிருந்து 2·5 விநாடிகள் வரை இருப்பதாகக் கண்டார்கள். மெல்லிசைக்கும், பேச்சொலிக்கும் குறைந்த எதிர்முழக்க நேரமும், வாத்திய இசைக்கு அதிக எதிர்முழக்க நேரமும் விரும்பத்தக்கது என நிர்ணயித்துள்ளார்கள்.

எதிர்முழக்க நேரத்தைக் காணல்

சபைன், எதிர்முழக்கத்தைக் காதால் கேட்டு, கடிகாரத்தைக் கொண்டு எதிர்முழக்க நேரத்தைக் கண்டுபிடித்தார்; ஒலியும், அவற்றின் சுரங்களும் ஒன்றாயிருக்க ஒரே மாதிரியான இரு ஆர்கன் குழாய்களைப் பயன்படுத்தினார். ஒரு தேக்கியினின்று வரும் காற்றைக் கொண்டு இக் குழாய்கள் இயக்கப்பட்டன. தேக்கியிலிருந்து வரும் காற்று நியூமாடிக் வால்வினால் கட்டுப்படுத்தப்படும். ஒலி எழுதல் நிற்கும்பொழுது கடிகாரத்தை இயக்கி, ஒலி கேட்காத அளவு பலம் குறையும்போது கடிகாரத்தை நிறுத்தி எதிர்முழக்க நேரத்தைக் கண்டுபிடித்தார்.

தற்கால முறையில் அரங்கத்தின் நடுவில் ஒரு மைக்ரோபோனை வைத்து ஒலி எழுப்பி, ஒலிபெருக்கியைக் கொண்டு ஒலி பெருக்கப்படும். ஒலிபெருக்கியினின்று வெளிவரும் ஒலி லாக்ரதமிக் அளவுக் குறிப்பானால் லாக்ரதமிக் பெயர்ச்சியாக மாற்றப்படுகின்றது. குறிப்பானில் கணக்கிட்ட வேகத்தில் ஒரு வரைதான் நகரும். ஓர் எழுத்தாணி, அரங்கின் ஒலிச் செறிவு அழிவை இவ் வரைதாளில் வரையவும். வரைகோட்டின் சரிவிலிருந்து எதிர்முழக்க நேரம் கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றது.

மாறாக, ஒலிபெருக்கி வெளியிடும் ஒலியை எதிர்மின்கதிர் அலை வரைவியில் ஊட்டி ஒலிச்செறிவு வரைகோட்டைத் திரையில் பெறலாம். இந்த வரைகோட்டினின்றும் எதிர்முழக்க நேரத்தைக் கணக்கிடலாம்.

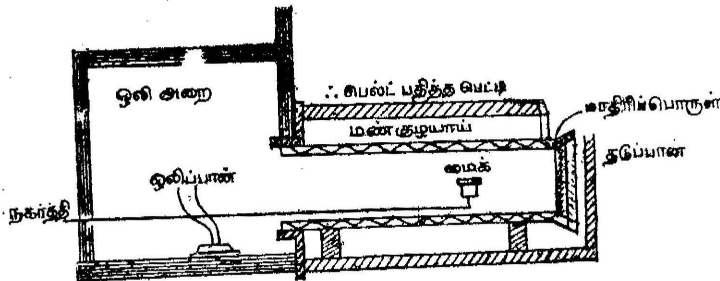
உட்கவர் எண்ணைக் காணல் (Determination of Absorption Coefficient)

கட்டடத்தில் பயன்படும் பொருள்களின் உட்கவர் எண்களைத் தெரிந்து பயன்படுத்த வேண்டும். பொருளின் உட்கவர் எண் என்பது பொருளின் தளத்தால் பிரதிபலிக்கப்படாத ஒலி ஆற்றலுக்கும் (அதாவது உட்கவரப்பட்ட, மற்றும் ஊடுருவி விட்ட ஆற்றல்) பொருளின் தளத்தில் படும் ஆற்றலுக்கும் உள்ள விகிதமாகும். பொருளின் உட்கவர்தல், அவற்றின் வடிவம், பரிமாணம், அவற்றின் இயற்பியலான தன்மை, மேலும் கட்டடத்தில் அவற்றின் இடம் முதலியவற்றைப் பொருத்திருக்கும். ஒலிப்புலம் விரவி நின்றால் (diffuse), உட்கவர் எண் பொருளின் இயல்புகளை மட்டும் பொருத்திருக்கும். பெரிய அறைகளிலும், உயர்ந்த அதிர்வெண்ணிலும் ஒலிப்புலம் அநேகமாக விரவியே இருக்கும். அப்பொழுது சபைனின் நிபந்தனைகள் மிகப் பொருந்தும். அட்டை வடிவிலுள்ள எந்தப் பொருளின் உட்கவர் எண்ணையும் கீழ்க்காணும் முறைகளில் காணலாம்: (அ) நிலை அலைகள் முறை, (ஆ) எதிர்முழக்க அறை முறை.

நில அலைகள் முறையில் உட்கவர் எண்ணைக் காணல்

சுமார் ஓர் அடி விட்டமுள்ள ஒரு நீண்ட குழாயின் ஒரு முனை உட்கவர் எண் காண வேண்டிய பொருளால் அடைக்கப்பட்டு உள்ளது. ஒலிப்பான் போன்ற ஓர் ஒலி மூலம் குழாயின் திறந்த முனையருகில் வைத்துச் சுற்றிலும் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒலி பெருக்கியைக்கொண்டு தேவையான செவியுணர் அதிர்வெண் ஒலியால் ஒலிப்பான் இயக்கப்படுகின்றது. ஒலிப்பானிலிருந்து ஒலி அலைகளும், குழாயின் மறுமுனையிலுள்ள பொருளில் பிரதிபலித்து வரும் அலைகளும் ஒன்றின்மேல் ஒன்று இணைந்து குழாயினுள் நிலையலைகள் உண்டாகும். ஒலியலையின் ஒரு பகுதி தான் பொருளில் பிரதிபலிக்கப்படுவதால், (ஒரு பகுதி அப் பொருளால் உட்கவரப்படும்) பிரதிபலிக்கப்பட்ட ஒலி அலையின் வீச்சு 'b', படு அலையின் வீச்சு 'a'-யைவிடக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, நிலையலையின் புனைக்கணுக்களின் பெயர்ச்சி $(a-b)$ ஆகவும், புனை எதிர்க்கணுக்களின் பெயர்ச்சி $(a+b)$ ஆகவும் இருக்கும். அளவீடு செய்த மைக்ரோபோனைக் குழாயின் அச்சில் நகர்த்தி $(a+b)$, $(a-b)$ இவற்றின் மதிப்புகள் கண்டுபிடிக்கப்

படுகின்றன. உட்கவர் எண்ணை $A = (a^2 - b^2) / a^2$ என்னும் சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம்.



படம் 85

எதிர்முழக்க அறை முறையில் உட்கவர் எண்ணைக் காணல்

விரவிய ஒலிப்புலத்தை உண்டுபண்ணக்கூடிய அடைப்பிடத்திற்கு எதிர்முழக்க அறை என்று பெயர். அறையின் சுவர்களைச் சாய்வாகவும், வெவ்வேறு வளைவு ஆரங்கள் கொண்ட குவி தளங்களாகச் சுவர்களையும் கூரையையும் அமைத்து, தூண்கள் இவற்றையெல்லாம் ஒலி விரவிகளாகச் செய்வதன்மூலம் எதிர்முழக்க அறையை உண்டு பண்ணலாம். அறையின் எதிர்முழக்க நேரம் முடிந்த அளவு அதிகமாயிருக்க வேண்டும். குறைந்த அதிர்வெண்களுள்ள ஒலிகளுக்கு நேரம் 5 விநாடிகளுக்குக் குறைவாகவும், அதிக அதிர்வெண் ஒலிகளுக்கு 2 விநாடிகளுக்குக் குறைவாகவும் இருக்கக் கூடாது. இந் நிபந்தனையில் பொருளின் உட்கவர் எண்ணைக் கீழ்க்காணும் முறையில் காணலாம்: ஒரே அதிர்வெண்ணும், ஒலி வெளியீடுமுள்ள ஒரே விதமான மூலங்கள் (ஆர்கன் குழாய்கள்) இருப்பதாகக் கொள்வோம். முதலில் ஒரு குழாய் ஒலிக்கட்டும். அதன் ஒலிச்செறிவு நிலையான பெரும் அளவை அடைந்ததும் ஒலி எழுப்புவதை நிறுத்தி அதே நேரத்தில் கடிகாரத்தை ஆரம்பிக்க வேண்டும். ஒலி பயன்படத்தக்க அதிர்வெண் உள்ள அளவு குறைதற்குத் தேவையான நேரம் t_1-ஐக் கண்டுபிடிக்கவும். இதே முறையில் தனித்தனியே எல்லாக் குழாய்களையும் ஒலிக்கச் செய்து t_n நேரத்தையும் கணக்கிடவும். $A = \log e^n / (tn - t_1) \times 4v/c$ என்னும் சமன்பாட்டில் A என்பது முழு உட்கவர் எண். அறையின் அளவீடுகளிலிருந்து V-யைக் கணக்கிட்டு C-ன் மதிப்பைத் தற்கோளாக்கி, $(tn - t_1)$, $\log e^n$ இரண்டையும் இணைத்து வரைகோடு வரைந்து, முழு உட்கவர் எண் A-யைக் கணக்கிடலாம்.

பிறகு பரப்பு S-ம் உட்கவர் எண் a-யும் கொண்ட பொருளை அறையினுள் வைத்து, ஒரே ஒரு குழாயைக் கொண்டு ஒலியை எழுப்பிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய்ய வேண்டும். ஒலிச் செறிவு பயன் தொடக்க அதிர்வெண்ணை அடையத் தேவையான நேரம் t ஆனால், $At_1 = (A + Sa)\,t$ என்னும் சமன்பாட்டைக் கொண்டு a-ன் மதிப்பைக் காணலாம். இவ்வாறாகக் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட சில பொருள்களின் உட்கவர் எண்கள் கீழ்க் கண்ட அட்டவணையில் தரப்பட்டுள்ளன:

பொருள்	உட்கவர் எண்	
	அதிர்வெண் 256	அதிர்வெண் 1024
திறந்த ஜன்னல்	1·00	1·00
சுண்ணாம்புப் பூச்சு	0·025	0·035
ஓடு	0·018	0·04
செங்கல்	0·03	0·05
மரச்சட்டம்	0·03	0·09
செலோடெக்ஸ்	0·17	0·4
தனி நபர்	4·30	4·70
கம்பளம் ½" கனம்	0·08	0·26
சணல் கோர்வை 1" கனம்	0·076	0·48

அரங்குகளில் எதிர்முழக்கத்தின் மிகையோ அல்லது குறை பாட்டையோ ஈடு செய்யத் தகுந்த எதிர்முழக்கத்தைத் தணிக்கும் பொருள்களைப் பயன்படுத்த வேண்டும். அவை ஒலியைக் குறை வாகப் பிரதிபலித்து வெகுவாக உட்கவர வேண்டும். உட்கவர வேண்டிய பொருள்களை வேண்டிய அளவு கட்டடத்தில் சேர்த்தோ அல்லது குறைத்தோ எதிர்முழக்கத்தைச் சரி செய்தல் மரபு. பெரும்பாலும் அஸ்பெஸ்டாஸ், தக்கை, நெட்டி, செலோ டெக்ஸ் முதலிய நுண் துளையுள்ள ஓடுகளையும், சாந்துகளையும்

தக்க முறையில் தயார் செய்து எதிர்முழக்கத்தைக் கட்டுப்படுத்தலாம்.

ஒலி குவிதல்

கட்டடங்களின் தளங்கள், சுவர், மற்ற பரப்புகள் வழுவழுப்பாக இருந்தால், அவை ஒலியைக் குறிப்பிட்ட திசைகளில் குவிக்கின்றன. அதனால் ஒலிச்செறிவில் ஏற்றமும், இறக்கமும் ஏற்படுகின்றன. இதனால் கேட்போர்க்கு வெறுப்பு ஏற்படும். இதைத் தவிர்க்க வேண்டாத பிரதிபலிப்பையும் அதனால் ஏற்படும் ஒலிக் குவிதலையும் நீக்க வேண்டும். இதற்குத் தளங்களைப் பிரதிபலிக்காத பொருள்களைக் கொண்டு நிரப்பலாம். அல்லது அலங்காரங்களினாலும், பரப்பில் வழுவழுப்பில்லாமல் செய்தும் தவிர்க்கலாம்.

ஒத்திசைவும் வேண்டாத குறுக்கீடுகளும்

பொதுவாக இவ்விரு நிகழ்ச்சிகளும் கட்டடங்களின் ஒலி நுணுக்கத்தைப் பாதிப்பதில்லை. இருந்த போதிலும், ஒலி வலுவுள்ளதாக இருக்கும்பொழுது ஒத்திசைவு அதிர்வுகள் ஏற்பட்டு இசையின் இனிமையைக் குறைக்கும். சுவர்களிலும், கூரைகளிலுமுள்ள மறைவிடங்கள், இடுக்குகள், அழகுபடுத்தும் தோரணங்கள் முதலியவை சில ஒலிகளைப் பெருக்கி அவற்றுடன் ஒத்திசைக்கின்றன. ஒத்திசைக்கும் பரப்புகளை மூடி மறைத்துப் பாதகமான விளைவுகளை நீக்கலாம்.

நிலையான சுருதிகளுடைய ஒலிகளை எழுப்பும்போது சில சமயங்களில் குறுக்கீட்டுப் பாகங்கள் ஏற்படுகின்றன. அப்போது பல இடங்களில் ஒலிச்செறிவில் பெருமமும் சிறுமமும் ஏற்பட்டு, ஒலியியலுக்கு ஊறு விளைவிக்கின்றன. இவற்றைத் தடுக்க வேண்டுமாயின், கட்டடங்களின் மூலை முடுக்குகளை வழுவழுப்பாயும், பளபளப்பாயும் இல்லாமல் செய்து இவற்றைத் தடுக்கலாம்.

பெரிய அரங்குகளில் ஒலியின் உரப்பு போதுமான அளவில் இருக்க வேண்டும். சுவர்கள், தளம், கூரை இவற்றின் பிரதிபலிப்புகளைக் கொண்டு ஒலியின் உரப்பைப் போதுமான அளவில் பெறலாம். இவ்விதமான பிரதிபலிப்புகள் இல்லாவிட்டால் பேச்சொலி பரவும் தொலைவு மிகவும் குறைந்த வரம்புக்குள் அடங்கும். பேசுபவர் பின் ஒரு சுவர் இருந்தால், அவர் பேசும் ஒலி கேட்கும் தொலைவு அதிகரிக்கும். மேலும் கூரை, பேசுபவர் அருகிலுள்ள சுவர் இவை பரவளைய பிரதிபலிப்பான் உருவில் செய்யப்பட்டிருப்பதால் ஓரே தன்மையான ஒலி அறை முழுதும்

கேட்கும். ஆனால் இந்த அமைப்பில் உள்ள இடர்ப்பாடு பேசுபவர் பரவளையத்தின் குவியத்திற்கேற்ப ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் இருக்க வேண்டும். மேலும், அறையில் ஏற்படும் இரைச்சல் பேசுபவர்மேல் குவிக்கப்படும். சட்டசபை, பட்டி மன்ற அறைகளின் எல்லாப் பகுதிகளுக்கும் பிரதிபலிப்பின் பலன் சமமாக இருத்தல்பொருட்டுத் தாழ்ந்த தட்டையான கூரைகள் அமைக்கப்படுகின்றன.

குழி தளங்கள் சமனில்லாமல் ஒலி பரப்புவதால் வட்ட அமைப்பிலும், குவிந்த விதான அமைப்பிலும் கூரைகளை அமைத்தல் கட்டட ஒலியியல் முறையில் திருப்தியற்றதாகும். ஒலி சமமாகப் பரப்பப்பட வேண்டுமாயின், வளைவு ஆரம் விதானத்தின் உயரத்தைப்போல் இரு மடங்கிற்குமேல் இருக்க வேண்டும். இவ்விதங்களில் ஏற்படும் பிரதிபலிப்பில் நேரொலிக்கும், பிரதிபலிக்கப்பட்டு வரும் ஒலிக்கும் இடைப்பட்ட காலம் முக்கிய அங்கமாகும். 1/16 வினாடிக்கு மேற்பட்ட இடைவெளியில் வரும் பலத்த பிரதிபலிப்பு விரும்பத்தகாத முறையில் தெளிவான எதிரொலிப்பாகத் தோன்றும். அதாவது, நேரே வரும் ஒலிக்கும் பிரதிபலித்து வரும் ஒலிக்கும் இடையிலுள்ள பாதை வேறுபாடு 80 அடிக்கு மேல் இருக்கக் கூடாது. அறையின் நீளம் 40 அடிக்கு மேல் இருந்தால் பேசுபவரின் பின்னாலுள்ள சுவரிலிருந்து எழும் ஒலிப் பிரதிபலிப்பைத் தடுக்க வேண்டும்.

அறையின் பிரதிபலிப்புகள்

ஓர் அறையின் பிரதிபலிப்புக் குணங்களை அறையின் சிறு மாதிரியைச் (Model) செய்து ஒலித்துடிப்பு நிழற்படமுறை அல்லது குற்றலைத்தொட்டி முறையில் ஆராய்ந்து கண்டறியலாம்.

ஒலித்துடிப்பு உருவுப்பதிவுப்பெட்டி என்பது இரு மின் பொறி இடைவெளிகள் (spark gaps) கொண்ட ஒரு நீண்ட பெட்டியாகும். முதல் இடைவெளியில் ஒரு மின்பொறி பாய்ந்தால் ஒலித்துடிப்பு உருவாகி, தளர்த்தியும் நெருக்கமும் பொறி இடைவெளியிலிருந்து செல்லும். இதற்கு ஒலிப்பொறி என்று பெயர். பின்னால் உள்ள மின்பொறி இடைவெளியில் ஓர் ஒளித் தெறிப்பு பாய்ந்து முன்னால் உருவான ஒலி அலைகளை ஒளியூட்டும். ஒளிப்படத் தட்டை ஒலிப்பொறிக்கு முன்னால் வைத்து ஒலி அலையின் நிழலைப் படம் பிடிக்கலாம். ஒலிப்பொறி இடைவெளியை உள்ளடக்கிக் கட்டட மாதிரியை (Model) வைத்துக் கட்டடத்தின் எல்லைகளில் பிரதிபலித்த அலைகளின் நிழலைப் படம் பிடிக்கலாம்.

குற்றலைத்தொட்டி (Ripple Tank) முறை

குற்றலைத்தொட்டியில் குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணில் அதிர்வுறும் அதிர்வியுடன் ஓர் அமிழ்த்தியை இணைத்து, தண்ணீர் அடங்கிய ஒரு சிறு தொட்டியில் குற்றலைகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. அதிர்வியின் அதிர்வெண்ணிலேயே குற்றலைகள் விட்டுவிட்டு ஒளியூட்டப்படுகின்றன. அதனால் குற்றலைகள் நிலைத்து நிற்பதாகத் தோன்றும். கட்டட மாதிரியை மரத்தில் செய்து ஒரு சிறு தொட்டியில் வைத்துப் பேச்சொலி எழுமிடத்தில் அமிழ்த்தியை வைத்து, அலைகளை உண்டுபண்ணி, அலைகளின் பிரதிபலிப்பை நேரில் காணலாம்.

இரைச்சல் (Noise)

ஒலியை இசையொலி, இரைச்சல் என இரு வகைப்படுத்தலாம் என முன்பே கண்டோம். சீரற்ற அதிர்வுகளுடைய பொருள்களிலிருந்து எழும் ஒலி மிகக் குறுகிய கால இடைவெளியை உடைய ஒலியலைகளைக் கொடுக்கும். இவ்வொலி செவிக்குத் துன்பம் தருவதாயிருக்கும். திடீரென்று தோன்றும் இந்த ஒலிகளின் பகுப்புகளெல்லாம் கட்டையாகவும், தெளிவின்றியுமிருக்கும். இதைப் போன்ற சிக்கலான பண்புகளைக் கொண்ட ஒலியை இரைச்சல் என்கிறோம்.

தொழில் துறையில் தோன்றியுள்ள பல வகைப்பட்ட இயந்திரங்களாலும், போக்குவரத்துகளினாலும் தேவையற்ற இரைச்சல் மிகுந்த அளவில் உண்டாகின்றது. இந்த இரைச்சலால் மனிதருக்கு ஊறுகள் பல விளைகின்றன. மிகுந்த இரைச்சலால் கேள்வித்திறன் குறையும்; நரம்பு மண்டலம் பலவீனம் அடையும்; மூளை அயர்வும், எரிச்சலும் ஏற்படும்; கவனக் குறைவு ஏற்பட்டு, அதனால் நாம் செய்யும் வேலையின் திறன் பாதிக்கப்படும். மேலும், குழந்தைகளின் வளர்ச்சியைக்கூட இந்த இரைச்சல் பாதிக்கும். எனவே, உடற்கூறுகளையும் மனதையும் பாதிக்கும் இந்த இரைச்சல் தவிர்க்கப்பட வேண்டும்; அல்லது முடிந்த அளவு குறைக்கப்பட வேண்டும். இவ் வழியில் வெற்றி காண இரைச்சலை அளப்பதற்கும், பகுப்பாய்வு செய்வதற்கும் நாம் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

இரைச்சலை அளவிடுதல் (Measurement of Noise)

இரைச்சல் சிக்கலான பண்புகள் கொண்ட ஒலி எனக் கண்டோம். எனினும், அதன் முக்கிய குணங்களில் ஒன்றான உரப்பைக் (Loudness) கொண்டு இரைச்சலை அளக்கலாம். வினாடிக்கு 1000 அதிர்வுகளுடைய ஓர் ஒலி மூலத்தைப் படித்தர

மாக (Standard) எடுத்து, அளவிடப்பட வேண்டிய இரைச்சலின் உரப்பிற்குச் சமமாகும் வரை அதன் உரப்பு ஓர் ஒத்ததிர்வியின் உதவி கொண்டு சரி செய்யப்படுகின்றது. டெசிபெல்லில் அளக்கப்பட்ட ஒலி மூலத்தின் செறிவு மட்டம் (Intensity Level), அதாவது படித்தரச் சுருதியின் செறிவிற்கும் செவியுணரத் தொடங்கும் செறிவிற்கும் (Threshold Intensity) உள்ள இடைவெளி இரைச்சலின் உரப்பை ஃபொன்களில் (Phon) கொடுக்கும்.

மேற்குறிப்பிட்ட அடிப்படையில் இரைச்சலை அளக்க டேவிஸ் என்பவர் ஒரு முறையைக் கண்டுபிடித்துள்ளார். இரப்பர்ச் சுத்தியால் தட்டி அதிர்வடையச் செய்யப்பட்ட ஓர் இசைக்கவை செவியருகில் பிடிக்கப்படுகின்றது. அதன் ஒலி செவியுணர் மட்டம் (Threshold Level) குறைய எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. இச் சோதனை இரைச்சலில்லாத அமைதியான இடத்தில் செய்யப்படுகிறது. இசைக்கவையின் தொடக்கச் செறிவை I_0 எனவும், செவியுணர்ச் செறிவின் அளவை I_T எனவும், செவியுணர் மட்டம் செறிவு குறைய எடுத்துக் கொண்ட காலத்தை t எனவும் எடுத்துக்கொண்டால், $I_T = I^0 e^{-Lt}$ ஆகும். L என்பது இசைக்கவையைப் பொருத்த ஒரு மாறிலி.

இரைச்சலுள்ள இடத்தில் இச் சோதனையைச் செய்து இசைக்கவையின் ஒலி இரைச்சலால் மறைக்கப்படும் (Masked) அளவிற்குக் குறை எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் t, கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றது. இரைச்சலால் மறைக்கப்படும்பொழுது இசைக்கவையின் ஒலிச்செறிவு I_N ஆனால்,

$$I_N = I_0 e^{-Lt_1} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, $$\frac{I_N}{I_T} = e^{L(t-t_1)}$$

இரு பக்கமும் log எடுக்க,

$$log_{10}\left(\frac{I_N}{I_T}\right) = log_{10} e^{L(t-t_1)}$$

$$10 \, log_{10} \frac{I_N}{I_T} = L(t-t_1) \, log_{10} e$$

$$= 0{\cdot}217 \, L(t-t_1)$$

இசைக்கவையின் அதிர்வெண் 1000 என்றால், மேற்கண்ட மதிப்பு இரைச்சல் மட்டத்தை ஃபொன்னில் கொடுக்கும்.

இதுவே இசைக்கவையின் ஒலிச்செறிவை மறைக்கும் இரைச்சல் மட்டம் ஆகும்.

கட்டடங்களினுள்ளே சகிக்கக்கூடிய இரைச்சல் மட்டம் கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது :

இடம்	சகிக்கக்கூடிய இரைச்சல் மட்டம்
	ஃபொன்கள்
ஒலிப்பதிவு, ஒலிப்பரப்பு நிலையங்கள்	5 முதல் 10 வரை
மருத்துவ நிலையம்	8 முதல் 12 வரை
இசை அரங்கம்	10 முதல் 15 வரை
வீடுகள், விடுதிகள்	10 முதல் 20 வரை
வகுப்பறை	12 முதல் 25 வரை
அலுவலகங்கள்	20 முதல் 40 வரை

இரைச்சல் குறைப்பும், இரைச்சலிலிருந்து கட்டடங்களைப் பாது காத்தலும்

நம்முடைய வீடுகளிலும், அலுவலகங்களிலும் இரைச்சலைக் குறைப்பதற்குப் பல வழி முறைகள் கையாளப்படுகின்றன. இரு வகையான இரைச்சல் ஒலிகளை நாம் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். (i) ஒலி மூலத்திலிருந்து காற்றின் வழியே கட்டடங்களுக்குள் வந்து சேரும் ஒலிகள் — இவை காற்று வழி (Air borne) ஒலிகள் எனப்படும். (ii) கட்டடத்தின் சுவர்போன்ற மற்ற அமைப்புகள் வழியே வரும் ஒலிகள் — இவை அமைப்பு வழி (Structure borne) ஒலிகள் எனப்படும்.

முதல் வகை ஒலிகள் கதவுகள், சாளரங்கள், காற்றுப் போக்கிகள் ஆகியவற்றின் வழியே வருபவை. மேலும், அறையின் உள்ளேயே பொருள்களை நகர்த்துதல், காலடிகளினால் தோன்றும் ஒலிகள், டைப் எந்திரம் எழுப்பும் ஒலிகள் முதலியவை இவ் வகையைச் சேரும். ஒலியை உட்கவரும் பொருள்களினலான திரைகள் (curtains), தரை விரிப்புகள் முதலியவற்றைப் பயன் படுத்தி, இவ் வகையான ஒலிகளைக் குறைக்கலாம். வானொலி நிலையங்களில் சிறு சிறு துளைகளையுடைய மீட்சிக் குணகங்கள்

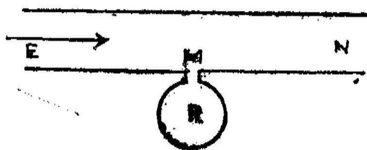
குறைவான பொருள்களால் ஆன சுவர்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. செலோடெக்ஸ் என்ற பொருள் இரைச்சல் ஒலிகளி லிருந்து பெருமளவு பாதுகாப்பளிக்கின்றது.

அமைப்பு வழி வரும் ஒலிகள், எந்திர சாதனங்களை நேரடி யாகத் தரையில் பொருத்தாமல் உட்கவர் பொருள்களைக் கொண்டு பொருத்துவதால், மிகுந்த அளவு குறைக்கப்படலாம். மேலும் எந்திர சாதனங்களைத் தனி அடைப்பிடத்தில் வைத்தும் இரைச்சலைக் குறைக்கலாம். தக்கை, கயிற்றாலான தரை விரிப்புகள்கூட இரைச்சலைத் தவிர்க்கப் பயன்படுகின்றன. அடைக்கப்பட்ட இரட்டைச் சுவர்களும் மிக நல்ல இரைச்சல் காப்பாகச் செயல்படும். கல்சுவரின் கனத்தை இருமடங்கு ஆக்குவதைக்காட்டிலும், அதே கனமுள்ள இரு சுவர்களைக் காற்று நிரம்பிய இடைவெளி விட்டு அடுத்தடுத்துக் கட்டினால் ஒலிக்காப்பு இரு மடங்காகும்.

எனவே, சிறந்த கட்டடங்களுக்கு வேண்டிய சூழ்நிலைகளுக்கு இடையூறாக அமையும் தடைகளை அகற்றி ஒலியியல் முறைப்படி சிறந்த மண்டபங்களையும் அரங்குகளையும் கட்டுவது, பல விஞ்ஞான வளர்ச்சிகள் அடைந்துள்ள இக் காலத்தில் எளிதே. பேரறிஞர் சபைனுக்குப் பிறகு ஒலியியல் சிற்பக்கலை வியத்தகு அளவு வளர்ந்துள்ளது. இதற்காக இல்லினாய்ஸ் நகரில் தனிப் பட்ட முறையில் ஓர் ஆராய்ச்சிக்கூடம் ஏற்படுத்தப்பட்டு, ஒலியியல் சிற்பக்கலை சம்பந்தமான ஆராய்ச்சிகள் இன்றும் நடைபெற்று வருகின்றன.

ஒலி வடிப்பான் (Acoustic Filters)

இரைச்சலை மட்டுப்படுத்தவும், அதனால் விளையும் சேதத்தைத் தவிர்க்கவும் சில சமயங்களில் அதிர்வைக் குறைக்க வேண்டி யிருக்கும். இதற்குத் தேவைப்படும் ஓர் அமைப்பே ஒலி வடிப் பான் ஆகும். இதில் ஒரு முக்கிய செலுத்து குழாயும் (Transmission tube), இடைவெளி விட்டு அமைந்த பிரிவுக்குழாய்களும் இருக்கும்.



படம் 86

ஓர் எளிய இரைச்சல் குறைப்பானின் (Silencer) அமைப்பைப் படத்தில் காண்க. ஒரு நேரான குழா யில் ஹெல்ம்கோல்ட்ஸ் ஒத்ததிர்வி (R) பக்கப் பிரிவாய் உள்ளது. ஒரு குறிப்

பிட்ட அதிர்வெண்ணில் ஒலி அலைகள் *E* வழியே குழாயினுள் செல்வதாகக் கொள்வோம். ஒத்ததிர்வியின் பரிமாணங்களைத் தக்கவாறு தேர்ந்தெடுத்து *M*-என்னும் பகுதியில் அழுத்த வீச்சைச் சிறும அளவுக்குக் குறைக்கலாம். ஒத்ததிர்வியினுள் ஏற்படும் அழுத்தமாற்ற விளைவுகளால் இது ஏற்படும். இந் நிலையில் *M* என்னும் இடத்தைத் தாண்டி, குறைந்த அளவு ஒலி அலைகள் *N*-ஐ நோக்கிப் பரவும். இம் மாதிரியான ஒத்ததிர்வி அதன் சுய அதிர்வெண்ணை ஒட்டிய நிலையில் மட்டும் மிகுந்த அழுத்தக் குறைப்பை ஏற்படுத்தும். ஒரு வரம்பிற்குட்பட்ட அதிர்வெண்களுடைய அலைகளை மட்டும் குழாய் வழியே அனுப்பத்தக்க அமைப்புகளுடைய இரைச்சல் குறைப்பான்களைச் செய்யலாம்.

குறைந்த அதிர்வெண்களுடைய ஒலி அலைகளை மட்டும் செல்ல அனுமதிக்கும் இரைச்சல் குறைப்பானுக்கு 'low pass filter' என்று பெயர். அதிக அதிர்வெண்களுடைய ஒலி அலைகளை மட்டும் செல்ல அனுமதிக்கும் இரைச்சல் குறைப்பானுக்கு 'high pass filter' என்று பெயர். இடைப்பட்ட அதிர்வெண்களுடைய ஒலி அலைகளை மட்டும் செல்ல அனுமதிக்கும் இரைச்சல் குறைப்பானுக்கு 'band pass filter' என்று பெயர்.

ஒத்ததிர்விக்குப் பதிலாக, குழாயின் சுவரில் வட்டத் துவாரங்களைக் கணக்கிட்ட இடைவெளிகளில் ஏற்படுத்தியும் ஒலி வடிப்பானைச் செய்யலாம்.

மின் ஒலியியல் சாதனங்களும், கட்டடக் கலை ஒலியியலும்

ஒலிபரப்பு நிலையங்கள், ஒலிப்பதிவு நிலையங்கள் முதலியவற்றில் பயன்படும் பல்வேறு ஒலியியல் சாதனங்களும், ஒலி மீட்பு வளர்ச்சியும் கட்டடக் கலை ஒலியியலில் புது பிரச்சினைகளை உண்டாக்கியுள்ளன; தற்போதுள்ள சில பிரச்சினைகளுக்கும் தீர்வு கண்டுள்ளன.

பெரிய அரங்குகளின் நிறைந்த கூட்டங்களுக்கு ஏற்படுத்திய ஒலிப்பெருக்கி அமைப்புகள் அரங்குகளின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் தேவையான ஒலி உரப்பைக் கொடுக்கின்றன. பேச்சொலி பொதுவாக 50 அடி தொலைவுக்கு மேல் கேட்காதாகையால், பேச்சுகளுக்குப் பெரிய அறைகள் தவிர்க்கப்பட வேண்டும். மேலும் பெரிய அறைகள் எதிர்முழக்கம் செய்யும். கூரைகளின் உயரம் அதிகமாயிருந்தால் விரும்பத்தகாத எதிரொலிகள் எழும். இதைத் தவிர்க்க உட்கவரும் பொருள்களைப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால், அவை ஒலியின் அளவைக் குறைக்கும். ஒலிப்பெருக்கியின் மூலம்

ஒலியின் அளவை வேண்டிய அளவு பெருக்கிக்கொள்ளலாம். அதிகப்படியான எதிர்முழக்கத்தை ஒலிப்பான்களைப் பயன் படுத்துதலால் குறைக்க முடியாது. மாறாக எதிர்முழக்கம் அதிகமாக இருந்தால் ஒலி உரப்பைக் கூட்டுதல் குழப்பத்தைத் தான் விளைவிக்கும். இதுவே ஒலிப்பெருக்கி மின்னூட்டம் பெற்று அலைவுகளை எழுப்பக் காரணமாகும். தொலைவிலுள் ளோரும் வசதியாகக் கேட்குமளவுக்கு ஒலிப்பெருக்கத்தை அடக்க வேண்டும். மேலும் ஒலிப்பான்களைத் தக்க இடங்களில் அமைத்து ஒலிப்பானின் அருகில் உள்ளோர் ஒலி அதிகமென்று உணராமலும் பெரும்பான்மையான சபையோர் பேசுபவரைத் தான் கேட்கிறோம் என்று எண்ணுமளவும் செய்ய வேண்டும். கூரை பிரதிபலிப்பு தேவையில்லையாதலால் வேண்டிய உரப்பைக் கொடுக்கச் சபையோரை நோக்கித் தேவையான உயரத்தில் ஒலிப்பான்களைக் கட்ட வேண்டும்.

ஒலிப்பதிவும், ஒலி மீட்பும் (Recording and Reproduction of Sound)

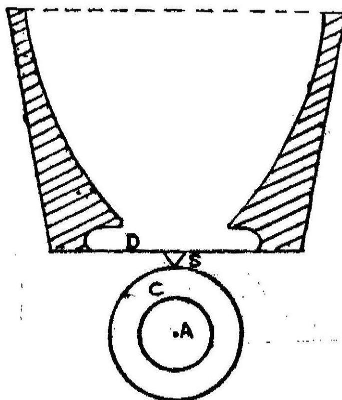
நாகரிகம் மிகுந்த, விஞ்ஞானம் வளர்ந்துள்ள இக் காலத்தில் நாடோடி முதல் செல்வந்தர் வீட்டுப்பிள்ளை வரை பெரும் பான்மையோர் டிரான்ஸிஸ்டர்களையும், ஒலிப்பதிவுக் கருவி களையும், ஒளிப்படப் பெட்டிகளையும் ஆடை அணிகலன்கள் போன்ற ஒரு பொருளாகப் போற்றி எடுத்துச் செல்லுகின்றனர்; தமக்குப் பிடித்தமான நிகழ்ச்சிகளையோ பாட்டையோ ஒலிப் பதிவு செய்து வைத்துக்கொண்டு, பின் தமக்குத் தேவையான நேரத்தில் தம் விருப்பம்போல் அவற்றை மீண்டும் கேட்டு மகிழ்வர். ஒலிப்பதிவும், ஒலி மீட்பும் செய்யும் கலை பல நூற்றாண்டுகளுக்கு மேலாகப் பல பேரறிஞர்களால் வளர்க்கப் பட்டு வரும் கலையாகும்; ஸ்காட் என்பவரால் (1853-ல்) தொடங் கப்பட்டு வளர்ந்து வரும் கலையாகும். ஒலிப்பதிவு செய்யும் முறையையும், அவற்றைத் திரும்ப மீட்சியுறச் செய்யும் முறை களையும் பற்றி ஆராய்வோம்.

எடிஸனின் போனோகிராப்

1876ஆம் ஆண்டு 'தாமஸ் ஆல்வா எடிஸன்' என்பவர் ஒலிப்பதிவு செய்யும் போனோகிராப் என்னும் கருவியை முழுமை யாகக் கண்டுபிடித்தார். இதன் முக்கிய பகுதி புனல் வடிவி லுள்ளது. புனலின் வாய்ப்பகுதி அகன்றும் குறுகிய அடிப் பகுதி மைக்காவினாலான இடைத்திரையால் *(D)* மூடப் பட்டுள்ளது. திரையின் மையத்தில் கீழ்நோக்கிப் பொருத்தப் பட்டுள்ள எழுத்தாணியின் *(S)* கூரிய முனை மெழுகு உருளையின்

(*C*) மேல் பதிந்து நிற்கும். *A* என்ற திருகு அச்சை உருளை மையமாகக் கொண்டுள்ளது. அச்சைத் திருகினால் உருளையும் சுழலும். இவ்விரு இயக்கங்களினால் ஒரு திருகுசுழல் (Helix) வளைகோட்டை உருளையைச் சுற்றி எழுத்தாணி வரையும்.

புனலின் வாயை நோக்கி ஒலியை எழுப்பினால் இடைத் திரை அதிர்வுறும். திரையின் எழுத்தாணி இந்த அதிர்வுக் கேற்ப உருளையில் கோடிடும். வளைகோட்டின் ஆழம் பேச்சொலியின் உரப்பிற்கேற்ப மாறுபட்டுக்கொண்டிருக்கும். இப் பதிவுக்குக் குன்றுக்குழிப் பதிவு (hill and dale recording) என்று பெயர்.



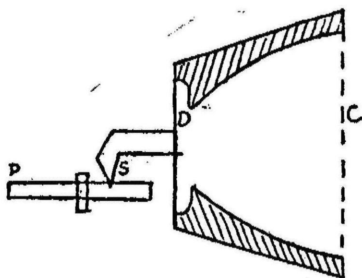
படம் 87

கிராமபோன்

போனோகிராபை முன்னோடியாகக் கொண்டு 1894ஆம் ஆண்டில் பெர்லினர் (Berlinor) என்பவர் கிராமபோன் என்னும் கருவியை உருவாக்கினார். இக் கருவியில் போனோகிராபின் உருளைக்குப் பதில் மெழுகுத்தட்டு (*P*) பயன்படுத்தப்பட்டது. தட்டு சீரான வேகத்தில் சுழலும்போது, எழுத்தாணி (*S*) மையத்தை நோக்கி நகர்ந்து தட்டின்மேல் ஒரு சுழல் கீரல் (spiral groove) விழும். பதிவு செய்ய வேண்டிய ஒலியைப் புனலில் (*C*) ஏற்றால் திரை அதிர்வுறும். எழுத்தாணி பக்கவாட்டில் பல்வேறு வீச்சுகளுடன் துடிக்கும். அதனால் தட்டில் சுருள் அலை கீரல் (Spiral wavy groove) வரையப்படும். புனல் சேகரித்த ஒலிக்குத் தகுந்தவாறு இவ் வரைகோடு அமையும்.

ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்ட இந்த மெழுகுத்தட்டை மூலப் பிரதியாகக் கொண்டு நகல் பிரதி தயாரிக்கப்பட வேண்டும். மூலப் பிரதியின்மீது கற்கரித் துகள்களைத் (Graphite) தூவி, அதைக் காப்பர் வோல்ட்டா மீட்டரின் எதிர் மின்வாயாக வைத்து முலாம் பூசினால் மெழுகுப் பதிவின்மேல் தாமிரத் துகள்கள் சன்னமாகப் படியும். தேவையான கனத்திற்குப் படிந்தவுடன் தாமிரம் உரித்து எடுக்கப்படும். மூலப்பிரதியில் உள்ள மேடு பள்ளங்களுக்கு ஏற்றாற்போல் இதில் பள்ளமும் மேடும் பதிவாயிருக்கும். இதனால் இத் தாமிரப் பதிவுக்கு நெகடிவ் என்று

பெயர். இந் நெகடிவ்வைப் பயன்படுத்தி முன்போலவே மூலாம் பூச்சு முறையில் மற்றொரு தாமிரப் பதிவு தயார் செய்ய வேண்டும். இதற்குத் தாய்க்கூடு அல்லது பாஸிடிவ் என்று பெயர். ஏனெனில், இதில் மூலப் பிரதியிலிருப்பது போல் மேடு பள்ளங்கள் அமையும். இதைப் பயன்படுத்தி மேலும் ஒரு நெகடிவ் பிரதியைத் தயார் செய்கின்றார்கள். இதற்கு வார்ப்புரு (working matrix) என்று பெயர். இதைக் கொண்டுதான் நாம் பயன்படுத்தும் ஒலிப்பதிவு வட்டுகளைத் தயாரிக்கின்றனர்.



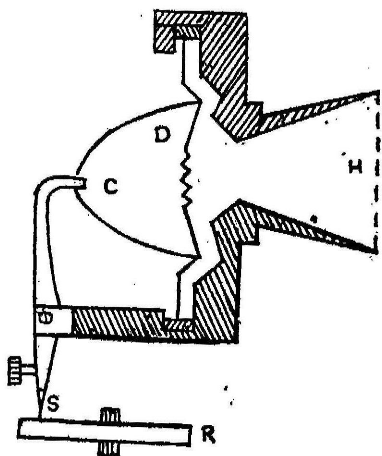
படம் 88

மேற்கூறிய முறையில் தயாரித்த வார்ப்புரு ஒலிப் பதிவு வட்டின் ஒரு பக்கத்திற்குரியதாகும். இதே முறையில் மறு பக்கத்திற்கு வேண்டிய வட்டுருவையும் தயாரித்து ஓர் அச்சு எந்திரத்தின் (hydraulic press) மேல் பக்கத்திற்கொன்றும், கீழ்ப் பக்கத்திற்கொன்றுமாக இணைக்கப்படுகின்றன. பிளாஸ்டிக் பொருளை இளகிய நிலையில் அச்சு எந்திரத்தின் இடையில் ஊற்றி இரு பக்கங்களையும் சேர்த்து அழுத்தி, குளிர்நீரை மேலே விட்டுக் குளிரச் செய்து, பின் வட்டமாக நறுக்கி எடுக்கப்படுகின்றது. இதுவே நாம் பயன்படுத்தும் கிராமபோன் இசைத்தட்டு ஆகும். இதே முறையில் ஏராளமான தட்டுகள் செய்யப்படுகின்றன.

இப்பொழுது ஒலிப்பதிவு மின்சார முறையில் செய்யப்படுகின்றது. மைக்ரோபோன் முன் எழுப்பப்படும் ஒலி மின் ஆற்றலாக மாறுகிறது. மின்சார ஓட்டம் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் மாறிக்கொண்டேயிருக்கும். இப்படி மாறிக்கொண்டே இருக்கும் மின்னோட்டம் பெருக்கப்பட்டு ஒரு சுருள் வழியே ஓடுகிறது. சுருளின் தளமும் ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட வேண்டிய மெழுகுத்தட்டும் குத்தாக இருக்கின்றன. மின்னோட்டம் ஓர் ஆர்மெச்சூர் வழியே ஓடி, அதில் குறுக்கலைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. ஆர்மெச்சூரில் பொருத்தப்பட்டுள்ள எழுத்தாணி மெழுகுத்தட்டின்மேல் சுருள் அலைக் கீரலை ஏற்படுத்துகின்றது. இதை மூலப்பிரதியாகக் கொண்டு முன்போல வேண்டிய பிரதிகள் பெறலாம்.

ஒலி மீட்பு (Reproduction of Sound)

இசைத்தட்டிலிருந்து ஒலியைத் திரும்ப எழுப்புவதற்கு ஒலி மீட்பு என்று பெயர். பழைய முறையில் இதற்குக் கிராமபோன் பெட்டியைப் பயன்படுத்தினர். இப் பெட்டியிலுள்ள விற்சுருள் சாவி கொடுக்கும்போது முறுக்கம் பெறுகின்றது. முறுக்கேறிய விற்சுருள் தளர்ச்சியுறும். அதனுடன் இணைந்த தட்டு சுழல்கிறது. எழுத்தாணியுடன் (*S*) ஒலிப்பெட்டியொன்று இணைப்புற்றுள்ளது. இந்த ஒலிப்பெட்டியில் *D* என்னும் இடைத்திரை ஒன்று உள்ளது. திரைக்கு முன் ஒரு காற்றறையும் (*C*), பின்புறம் ஒரு புனலும் (*H*) உள்ளன. இசைத் தட்டு (*R*) சுற்றும்போது அலைக்கீரல்களின் வழியே எழுத்தாணி பக்கவாட்டில் நகரும். எழுத்தாணியின் இயக்கம் நெம்புகோலொன்றால் பெருக்கப்பட்டுக் காற்றறையின் வழியே இடைத்திரையில் விழும். திரையின் இயக்கம் புனலில் உள்ள காற்றில் ஒலியலைகளை எழுப்பத் தட்டில் பதிவு செய்யப்பட்ட ஒலி திரும்பக் கேட்கும்.



படம் 89

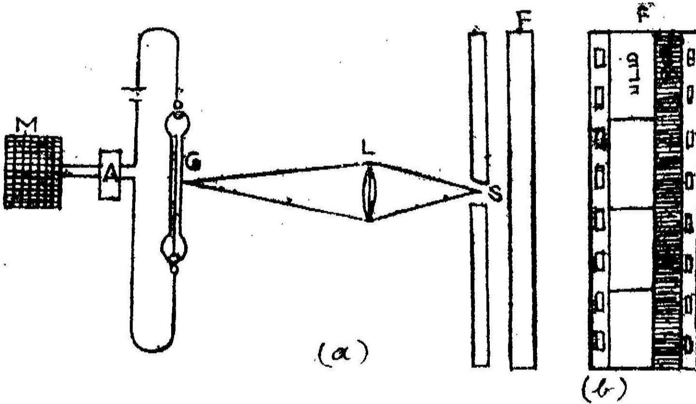
இம்முறையில் சில குறைபாடுகள் உள்ளன. புனலினுள் உள்ள காற்று ஓர் எடையாக இயங்கி ஊசி வழியே இசைத் தட்டையும் தாக்குகின்றது. இதனால் ஊசியும் தட்டும் தொய்ந்து விரைவில் கெட்டு விடுகின்றன. இப்பொழுதெல்லாம் மின் விசையால் ஒலி மீட்பு நடத்த வகை செய்யப்பட்டுள்ளது. ஒலி மீட்புக்கு எடுப்புகள் (pick-up) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவை ஒலிப்பெட்டிக்குப் பதில் பொருத்தப்படுகின்றன. தட்டின்மேலுள்ள சுருள் அலை கீறலில் இயங்கும் எழுத்தாணியின் அதிர்வுகள் காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு மின் சுருளில் மாறுபடும் மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை உண்டாக்கும். மாறு திசை மின்னோட்டம் ஓர் ஒலிபெருக்கியில் நுழைந்து ஒலியாக மீட்சியுற்று ஒலிப்பான் வாயிலாக வெளி வருகின்றது.

திரைப்பட ஒலிப்பதிவு (Film Recording)

திரைப்படவியலில் ஒளியும் ஒலியும் ஒரே ஏட்டில் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. ஸெலுலாய்டாலான மென்தாள் சுருளில் தாளின் 0·9 பங்கு மையப்பகுதி ஒளியும், 0·1 பகுதி அகலத்தில் பக்கத்தில் ஒலியும் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. ஒலிப்பதிவை மட்டும் இங்கு நாம் விவரிப்போம். ஒலிப்பதிவு இரு முறைகளில் செய்யப்படுகின்றன. ஒன்றிற்கு மாறுபடும் அடர்த்தி முறை (Variable Density Method) என்றும், மற்றொன்றிற்கு மாறுபடும் பரப்பு முறை (Variable Area Method) என்றும் பெயர்.

(அ) மாறுபடும் அடர்த்தி முறை

(i) மாறுபடும் அடர்த்தி முறையையும் இரு முறைகளில் செய்யலாம். ரூஹ்மர் (Ruhmar) என்பவர் கையாண்ட முறையில் பதிவாக வேண்டிய ஒலி ஒரு மைக்ரோபோனில் (M) பட்டு, அதன் இடைத்திரையை அதிர்வுறச் செய்கின்றது. மைக்ரோபோன் சுற்றிலோடும் மின்னோட்டத்தில் மாற்றம் ஏற்பட்டு, இம் மின்னோட்டம் குறைந்த அழுத்தமுள்ள மற்ற வாயுக்கள் நிறைந்த மின்னிறக்கக் குழாயை (G) இயக்கும் மின்சுற்றுக்குள் அனுப்பப் படும் ஒலிக்கேற்ப விளக்கினின்று வரும் ஒளியின் செறிவு மாறுத லடையும். ஒரு குவி வில்லை (L) இவ்வொளியை மாறாத அகல முள்ள கிடைமட்டமான ஒரு குறுகிய செவ்வகத் துளையில் (S)



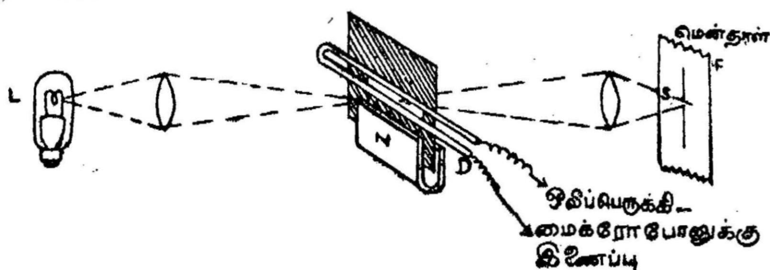
படம் 90

குவிக்கின்றது. துளையின் பின்புறம் படம் பிடிக்கப்பட்ட மென் தாள் (F) மேலிருந்து கீழாகச் சீரான வேகத்தில் நகர்ந்துகொண்

டிருக்கும். ஒளியாக மாறிய ஒலி துளை வழியே சென்று நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் மென்தாளில் கிடைமட்டக் கோடுகளாகப் பதிவாகின்றது. இக் கோடுகள் ஒலிக்கு ஏற்பப் பளிச்சென்றும், மங்கலாகவும் படத்தில் (b) காட்டியபடி இருக்கும்.

(ii) மாறுபடும் அடர்த்தி ஒலிப்பதிவை வேறு முறையிலும் செய்யலாம். இதில் சீரான வேகத்தில் நகர்ந்துகொண்டிருக்கும் மென்தாளின் (F) மேல் ஒரு பிளவின் (S) பிம்பம் பெறப்படுகின்றது. நிலைத்த சக்தி வாய்ந்த விளக்கால் (L) பிளவு ஒளி ஊட்டப்படுகின்றது. மின்னோட்டத்தினால் இயக்கப்படும் ஒளி வால்வினால் பிளவின்மேல் படும் ஒளியின் அளவு மாற்றப்படுகின்றது.

ஒளி வால்வு என்பது இயற்கை அதிர்வெண் 10,000 இருக்குமாறு இழுத்துக் கட்டப்பட்ட இரு டியூராலியம் (D) நாடாவினால்



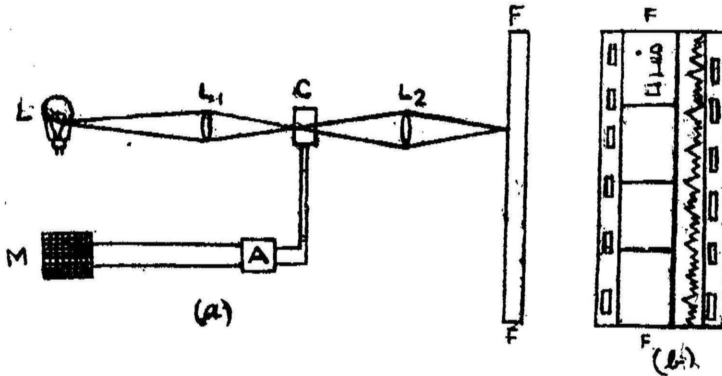
படம் 91

அமைந்தது. இவை ஒரு காந்தப்புலத்தில் (*N*) உள்ளன. காந்தக்கட்டையின் துவாரங்களில் உள்ள துளை வழியாய் ஒளி செல்லுமாறு இந்தக் காந்தப்புலம் உள்ளது. பெருக்கப்பட்ட மைக்ரோபோன் மின்னோட்டம் நாடாவில் செலுத்தப்படும். நாடாவில் மின்னோட்டம் இல்லாதபொழுது பிளவில் படும் ஒளி தடையுறும். நாடாக்களில் மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது ஒரு நாடா மேலேயும், மற்றது கீழேயும் நகர்ந்து இடையில் ஒளி செல்லுமாறு செய்கிறது. இடையே செல்லும் ஒளியின் அளவு மின்னோட்டத்தின் அளவைப் பொருத்திருக்கும். அதனால் மென்தாளில் படியும் பூச்சின் அடர்த்தி ஒலியின் செறிவைப் பொருத்து அமையும்.

(ஆ) மாறுபடும் பரப்பு முறை

ஒளி பாயும் துளையின் அகலத்தை மாற்றி ஒலிக்குத் தகுந்தபடி பதிவாகும் ஒலியின் அகலத்தை மாறுபடச் செய்வதால்,

இதற்கு மாறுபடும் பரப்பு முறை எனப் பெயர். டியூராலியம் நாடாவினால் செய்யப்பட்ட ஒரு சிறு வளையம் (loop C) வலிவான காந்தப்புலம் ஒன்றிற்குக் குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. L_1 என்ற குவிவில்லை விளக்கொன்றிலிருந்து (L) வரும் ஒளியை வளையத்தின்மீது குவிக்கின்றது. படும் ஒளியின் பரப்பு வளையத்தின் பரப்புக்குச் சமமாக இருக்கும். வளையத்தினின்று வெளியேறும் ஒளி L_2 என்னும் குவி வில்லையால் படம் பிடிக்கப்பட்ட



படம் 92

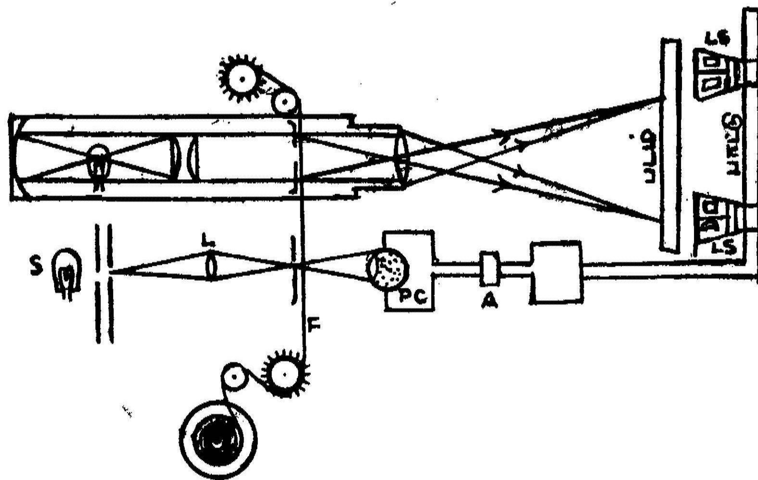
மென்தாளில் (F) குவிகின்றது. மைக்ரோபோனின் முன் எழுப்பப்பட்ட ஒலி, மின்னோட்டமாக மாறி மின்பெருக்கியினால் பெருக்கப்பட்டு, அத்துடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் வளையத்தினுள் நுழைகிறது. இப்போது வளையம் காந்தப்புலம், மின்னோட்டம் இவை இரண்டாலும் இயக்கப்பட்டு மூடிமூடித் திறக்கின்றது. வளைதுளையின் பரப்பு எழுப்பப்பட்ட ஒலிக்கேற்றபடி மாறுதலடையும். எனவே, ஒளி ஏற்கும் மென்தாளின் பாதையும், பரப்பும் ஒலிக்கேற்றாற்போலிருக்கும். ஆதலால், மென்தாளில் பதியும் ஒலியின் பரப்பும் படத்தில் (b) காட்டியபடி கூடிக் குறைந்திருக்கும்.

இம்முறையில் செய்யப்பட்ட ஒலிப்பதிவு வெள்ளை கருமைப் பதிவைக் கொடுப்பதால், மென்தாளை ஒலி விளக்கம் (development) செய்வது எளிது. ஆனால் வேறுபடும் அடர்த்தி முறையில் அடர்த்தி மாற்றம் சிறப்பாக அமையப் பொருத்தமாக ஒலி விளக்கம் செய்ய வேண்டும். ஒலிச்சுவடு மென்தாளில் 1/10" அகலத்தில் அமையும்.

இவ்வாறாக ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்ட மென்தாளும் படம் பதிவு செய்யப்பட்ட மென்தாளும் நேர்ப்பதிவில் (positive print) ஒன்றாக இணைக்கப்படுகின்றன.

திரைப்பட ஒலி மீட்பு (Reproduction of Film Sound)

படமும் ஒலியும் பதிவு செய்யப்பட்ட மென்தாள் திரைப்பட வீழ்த்தியில் பொருத்தப்பட்டு மேலிருந்து கீழாகச் சீரான வேகத்தில் ஓட்டப்படுகின்றது. ஒளிக்கற்றை ஒரு (L) குவிவில்லையால் ஒலிப்பாதையின்மேல் குவிக்கப்படுகின்றது. மென்தாளின் ஒலிப்பாதையை ஊடுருவிச் செல்லும் ஒளி, ஓர் ஒளி மின்கலத்தின்(PC)மீது பட்டு, ஒளி மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துகின்றது. இந்த ஒளி மின்னோட்டம் (A) பெருக்கப்பட்டு, ஓர் ஒலி



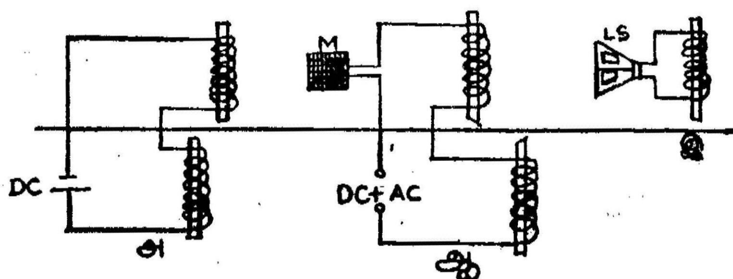
படம் 98

பெருக்கியை (LS) இயக்கி ஒலியாக வெளிப்படுகின்றது. ஒலியைச் சார்ந்து திரையில் விழும் படமும் அதே சமயத்தில் திரைக்குப் பின்னால் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒலிபெருக்கியிலிருந்து எழும் ஒலியும் ஒருங்கிணையப் படங்களிலிருந்தே ஒலி வெளி வருவதைப் போன்ற உணர்வைக் கொடுக்கும்.

காந்த நாடா ஒலிப்பதிவு (Magnetic Tape Recording)

பெரோகாந்தப் (Ferromagnetic) பொருள்களின் காந்த தேக்குதிறன், காந்த நீக்கு திறன் இப் பண்புகளைக் கொண்டு

காந்த நாடா ஒலிப்பதிவு செய்யப்படுகின்றது. இம் முறையை (1900ஆம் ஆண்டில்) முதன்முதலில் கையாண்டவர் டென்மார்க் நாட்டு அறிஞர் 'வால்டிமர் போல்சன்' (Voldemer Puolsen). இக் காந்த ஒலிப்பதிவு முறையில் எஃகு அல்லது வினைலைட் (vinylite) எனப்படும் பிளாஸ்டிக் நாடாவில் ஒலிப்பதிவு செய்யப்படுகின்றது. காந்த தேக்கு திறனும், காந்த நீக்கு திறனும் அதிகமுள்ள ஃபெரோகாந்தத்துகள்கள் இந் நாடாவில்செலுத்தித் திணிக்கப்பட்டுள்ளன. இம் முறையில் ஒலிப்பதிவு செய்யப்படும் கருவியில் உள்ள மூன்று முக்கிய பாகங்கள் : (அ) அழிக்கும் கருவி (Wiping Head), (ஆ) பதிவு செய்யும் கருவி (Recording Head), (இ) ஒலி மீட்கும் கருவி (Reproduction Head). முதலி



படம் 94

ரண்டு கருவிகளும் மின்காந்தங்கள்தான். பதிவு செய்யும் மின் காந்தத்துடன் ஒரு மைக்ரோபோன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒலி மீட்புப் பகுதி ஒரு காந்த முனைத் துண்டால் ஆனது. இதைச் சுற்றியுள்ள மின் கம்பிச்சுருளுடன் ஓர் ஒலிப்பெருக்கி இணைக்கப்பட்டிருக்கும் (LS).

முதல் மின்காந்தத்தின் கம்பிச்சுருள் வழியே நேர்த் திசை மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தி, மின்காந்த முனைகளின் இடையே நாடாவைச் சீரான வேகத்தில் ஓட்ட, நாடாவில் தெவிட்டு நிலை (Saturation Point) வரை காந்தமேற்றப்படும். இந் நாடா தொடர்ந்து ஒலிப்பதிவு செய்யும் மின்காந்தத்தின் முனைகளின் இடையே செல்லும். அப்போது மைக்ரோபோன் முன் எழுப்பப் படும் ஒலி, மின்னுற்றலாக மாறி, மாறுதிசை மின்னோட்டமாக மாறி, மின்காந்தச்சுருளில் பாயும். அதே நேரத்தில் அதே சுருளின் வழியே ஒரு மின்கலத்திலிருந்து நேர் மின்னோட்டம் செலுத்தப் படும். இது காந்தத்தை அழிக்கும் திறனுடையது. எனவே,

மைக்ரோபோன் முன் எழுப்பப்படும் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் நாடாவிலுள்ள தெவிட்டு நிலை காந்தம் குறைவுற்று, அந் நிலையில் நாடாவில் ஒலி பதிவுறும். இப்படி ஒலி பதிவேற்ற நாடா அதே வேகத்தில் அதே திசையில் 3-வது பகுதியாகிய காந்தத்துண்டின் முனை வழியே செலுத்தப்பட்டால், காந்தச்சுருளில் மின்னழுத்தமும், அதனால் மின்னோட்டமும் உண்டாகும். இம் மின்னோட்டம் பெருக்கப்பட்டு ஒலிப்பெருக்கியின் வாயிலாக மீட்சியுறும். மைக்ரோபோன் முன் எழுப்பப்பட்ட ஒலியின் பண்பை ஒத்து ஒலிப்பானிலிருந்து வெளிவரும் ஒலி தோன்றும்.

பதிவு செய்யும் மின்காந்தத்தின் இரு முனைகளும் நேருக்கு நேரில்லாமல் படத்திலுள்ளதைப்போல் சிறிது தள்ளியிருக்கும். முனைகள் நேருக்கு நேரிருந்தால் மேல் சுருதிகளில் ஒலி எதிரொலிக்கப்படும்பொழுது மின்காந்தச் சுருளில் ஊட்டப்படும் மின்னழுத்தமும் அளவிற்கதிகமாகி ஒலி மீட்சைப் பெறும் அளவில் பாதிக்கும். மேலும், நாடாவின் காந்தப் பண்புகள் சீரற்று இருந்தால் பின்னணிக் கூச்சல்கள் அதிகமாக எழும்.

இம் முறையின் நன்மைகள் பல. நாடாவில் பதிவான ஒலி நீண்ட நாள்களுக்குத் தேயாமலும், மங்காமலும் தெளிவாக இருக்கும். எத்தனை முறை வேண்டுமானாலும் ஒலிப்பதிவை மீண்டும் எழுப்பிக் கேட்கலாம். பதிவு செய்யப்பட்ட நிகழ்ச்சி தேவையில்லை என்று எண்ணினால், அதை அழித்து விட்டு அதே நாடாவில் வேறு நிகழ்ச்சியைப் பதிவு செய்துகொள்ளலாம். ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்ட நாடாவை அழிக்கும் பகுதியின் வழியே செலுத்த, ஒலிப்பதிவு அழிந்து விடும். அல்லது பதிவு செய்யப்பட்ட நாடாவின்மீது ஒலிப்பதிவு செய்ய, முதற்பகுதி தானாகவே அழிந்து விடும்.

வினாக்கள்

1. கட்டட ஒலியியலைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக.

2. ஒரு பொருளின் உட்கவர் எண் என்றால் என்ன? ஒரு பொருளின் உட்கவர் எண்ணை எவ்வாறு கண்டுபிடிப்பாய்?

3. எதிர்முழக்கம் என்பது என்ன? ஓர் அறையின் எதிர் முழக்க நேரத்தை எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கலாம்?

4. காந்த நாடா ஒலிப்பதிவு கருவியை விவரிக்க. இதைக் கொண்டு ஒலியைப் பதிவு செய்து மீட்சியுறச் செய்யும் முறையை விளக்குக.

5. இசைத்தட்டைத் தயார் செய்யும் முறையையும், அதில் பதிவான இசையை மீட்டெடுப்பும் முறையையும் விவரித்து எழுதுக.

6. திரைப்படத்தில் ஒளியுடன் ஒலியும் எப்படி பதிவு செய்யப்படுகின்றது? மாறுபடும் அடர்த்தி முறை அல்லது மாறுபடும் பரப்பு முறை ஏதேனும் ஒன்றை முறையாக விளக்கி எழுதுக.

7. குறிப்பு எழுதுக :

(i) இரைச்சலை அளத்தல்,

(ii) ஒலி வடிப்பான்,

(iii) குற்றலைத்தொட்டி.

11. செவியுணரா ஒலியியல்

(Ultrasonics)

கேள்வித்திறனின் மேல் எல்லையைத் தாண்டிய அதிர்வெண்ணுடைய ஒலிக்கு, அதாவது 20,000 ஹெர்ட்ஸ் அதிர்வெண்ணிற்கு மேற்பட்ட அதிர்வையுடைய ஒலிகளுக்குச் 'செவியுணரா ஒலி' என்று பெயர். நம் காதின் உணர்திறனையொட்டி ஒலிகள் கீழ் ஒலிகள் (Infra Sounds), கேள்வி ஒலிகள் (Audible Sounds), மேல் ஒலிகள் (Ultrasonics) எனப் பகுக்கப்பட்டுள்ளன. காதால் உணர முடியாத அதிர்வுகளுடைய இந்த மேல் ஒலிகளே செவியுணரா ஒலி எனப்படும். சமீப காலங்களில் உருவாக்கப் பட்ட முறைகளைக் கொண்டு 500 மெகா ஹெர்ட்ஸ் அதிர்வெண் வரை ஒலிகளை எழுப்பலாம். இவ்வுயர் அதிர்வெண் அலைகளைக் கொண்டு பொருள்களின் பண்புகளை அவற்றின் மூன்று நிலைகளி லும் ஆராயலாம். இவ்வொலியின் பல வகையான பயன்களைப் பின்பு காண்போம். செவியுணரா ஒலிகளை எழுப்பும் முறைகளை முதலில் பார்ப்போம்:

வெட்டுக்கிளி, தேனீக்கள் போன்ற பூச்சிகளும் பூனை போன்ற மிருகங்களும் 30,000 ஹெர்ட்ஸ்க்கு மேற்பட்ட அதிர் வெண் உடைய மனிதச் செவியுணரா ஒலிகளை எழுப்பும் திறனு டையவை. அவ்வொலிகளை அவற்றால் கேட்கவும் முடியும். சிறப்பாக வௌவால் 100,000 ஹெர்ட்ஸுக்கு மேற்பட்ட அதிர் வெண்களையுடைய ஒலியை உண்டுபண்ணித் தங்கள் காதின் உட்புறமுள்ள மென்மையான பகுதிகளால் இம் மேல் ஒலிகளைக் கேட்கும் திறனைப் பெற்றுள்ளன. பறக்கும் இவ் விலங்குகள் தங்கள் கண்களைவிடக் காதுகளையே பெரிதும் நம்பி வாழ்கின்றன. அவை எழுப்பும் ஒலிகள் வழியிலுள்ள தடைகளில் மோதிப் பிரதி பலிக்கப்பட்டுத் திரும்புகின்றன. இவ்வாறு பிரதிபலித்து வரும் ஒலிகளைக் கேட்டுணர்ந்து தடைகளின் இடங்களை நிதானித்து இருட்டிலும் இடையூறின்றிப் பறந்து வாழ்கின்றன.

செவியுணரா ஒலிகளை எழுப்பும் முறைகள்—ஹார்ட்மனின் ஜெட் அலைவியற்றி

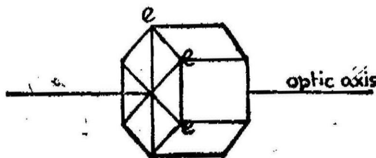
அதிர்வெண் நெடுக்கத்திற்கேற்பச் செவியுணரா ஒலிகளை எழுப்ப வெவ்வேறு முறைகள் உள்ளன. எந்திர முறைகளில்

முக்கியமானது ஹார்ட்மனின் ஜெட் அலேவியற்றி முறையாகும். ஒரு ஜெட்டினுல் மிகுந்த அழுத்தத்துடன் காற்று தள்ளப்படு கின்றது. இக்காற்று, கேள்வி ஒலியின் வேகத்தைத் தாண்டிய வேகத்தில் குழாயின் மூக்கு வழியே வெளியேறி ஓரச்சு உருளை உட்குழிவின் வளேய உருவின் விளிம்பில் மோதுகிறது. ஜெட்டி னின்று வெளியேறும் காற்று தொடர்ந்த துடிப்புகளாகச் சென்று உருளேயின் உட்குழிவிலுள்ள காற்றில் ஒத்திசை அதிர்வுகளே உண்டுபண்ணுகிறது. இம் முறையில் அதிர்வெண் 100 கி.ஹெ. வரை எழுப்பக்கூடிய அதிர்வுகளே இயற்றலாம். காற்றிற்குப் பதில் ஹைட்ரஜன் வாயுவை உபயோகித்து 500 கி.ஹெ. வரை அதிர்வெண்களே எழுப்பலாம்.

பீசோ அல்லது அழுத்த-மின்னியற்றி (Piezo-electric Generator)

பீசோ மின் அலேவியற்றிகள் மிகவும் பயன்படுகின்றன. குவார்ட்ஸ், டூர்மலேன் (Tourmaline) போன்ற படிகங்கள் எந்திர வியல் தகைவுக்கு உட்பட்டால் மின்னூட்டம் பெறுகின்றன. அது போலவே அப் படிகங்களுக்கு மின்னூட்டம் கொடுத்தால், அவை எந்திரவியல் தகைவடைகின்றன. இவ் வியத்தகு விளேவுக்குப் பீசோ-மின் விளேவு என்று பெயர். இவ் விளேவைப் பயன்படுத்திச் செவியுணரா ஒலிகளே எழுப்பலாம்.

குவார்ட்ஸ் படிகம் (Quartz Crystal) அறுகோணச் சமச் சீரமைப்புடையது. நுனிகள் கூர்மையாயிருக்கும். அதன் நெடுக்கை அச்சு (Longitudinal Axis) ஒளி அச்சு (Optic Axis) எனப்படும். ஒளி அச்சுக்குக் குத்துத் திசையில் படிகத்தை நறுக்கினுல், கிடைக்கும் பகுதியும் அறுகோண வடிவமுடையதா யிருக்கும். அதன் எதிர் முனேகளேச் சேர்க்கும் கோடு மின்னச்சுக் கோடு (Electric Axis) எனப் படும். எனவே, படிகத்திற்கு மூன்று மின்னச்சுகள் உள்ளன (*e*). ஒவ்வொன்றும் ஒளியச்சுக்குக் குத்தாயிருக் கும்.



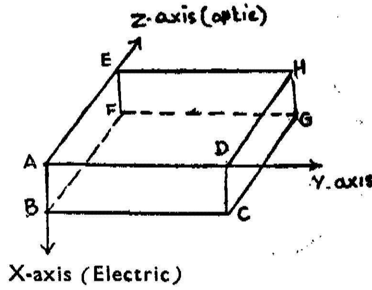
படம் 95

ABCDEFGH என்னும் குவார்ட்ஸ் செவ்வகத் துண்டை எடுத்துக்கொள்வோம். ***AE*** (*Z*-axis) ஒளி அச்சுத் திசையிலும், ***AB*** (*X*-axis) ஒரு மின்னச்சுத் திசையிலும், ***AD*** (*Y*-axis) இவ்விரு அச்சுகளுக்கும் குத்தாகவுமிருக்கின்றன. ***AB*** திசையில் படிகம் உள்ளமுக்கப்பட்டால் (compress), ***AE HD*** என்ற பக்கத்திற்கு

நேர்மின்னூட்டமும் (+ ve charge), *BF GC* என்ற பக்கத்திற்கு எதிர் மின்னூட்டமும் (− ve charge) ஏற்படுகின்றது.

இதற்கு நேர்முக (Direct) நெட்டழுத்த மின் விளைவு (Longitudinal Piezo-electric Effect) என்று பெயர்.

Y அச்சுத் திசையில் இழுவிசையைக் கொடுத்தால், படிகம் *AD* திசையில் நீளும்; அல்லது *AB* திசையில் சுருங்கும். இப்பொழுது *AE HD* என்ற பக்கம் நேர்மின்முனையாகவும், *BF GC* என்ற பக்கம் எதிர்மின்முனையாகவும் இருக்கும். இதற்குக் குறுக்கு (Transverse) அழுத்த மின் விளைவு என்று பெயர். மாறாக *AB* திசையில் இழுவிசையும் *AD* திசையில் உள்ளமுக்கமும் கொடுத்தால், *AE HD* என்ற பக்கம் எதிர்மின்முனையாகவும், *BF GC* என்ற பக்கம் நேர்மின்முனையாகவும் மாறும். ஆனால் ஒளியச்சின் திசையில் மின் விளைவு ஏற்படுவதில்லை.

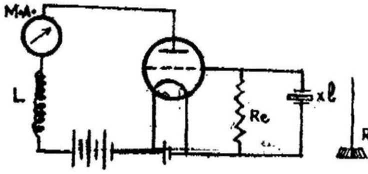


படம் 96

இதன் எதிர்விளைவாகப் படிகத்தை அழுத்தியோ, இழுத்தோ அதற்கு மின்னூட்டம் கொடுப்பதற்குப் பதிலாக, மின்னழுத்தத்தை ஊட்டினால் படிகம் திரிபடையும். *AE HD* என்ற பக்கத்திற்கு நேர்மின்னூட்டமும், *BF GC* என்ற பக்கத்திற்கு எதிர் மின்னூட்டமும் அளித்தால், படிகம் *AB* திசையில் விரிவடைந்து *AD* திசையில் நீளம் குறையும். *AE HD*-க்கு எதிர்மின்னூட்டத்தையும், *BF GC*-க்கு நேர்மின்னூட்டத்தையும் அளித்தால் படிகம் *AB* திசையில் சுருங்கி, *AD* திசையில் நீளும். எனவே, எதிர்முகங்களிலுள்ள மின்னூட்டம் திரும்பத் திரும்ப மாறுதல் அடைந்தால், படிகமும் அதே வேகத்தில் நீண்டு சுருங்கும். படிகத்தின் உருவில் சீரான அதிர்வெண்ணில் பெருக்கமும் சுருக்கமும் தொடர்ந்து நிகழ்ந்தால் படிகம் அதிர்வுறும். அப்பொழுது அதன் அதிர்வெண்ணும் மாறுபடும்; மின்புலத்தின் அதிர்வெண்ணும் சமமாகும்.

வெப்ப அயனி வால்வுகளினால் மின்னியல் அலைவுகளை உருவாக்கிச் செவியுணரா ஒலியை எழுப்பும் முறை படம் 97-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. தக்க முறையில் வெட்டிச் செதுக்கப்பட்ட ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகம் (*xl*) இரு மின்வாய்களைக் கொண்ட

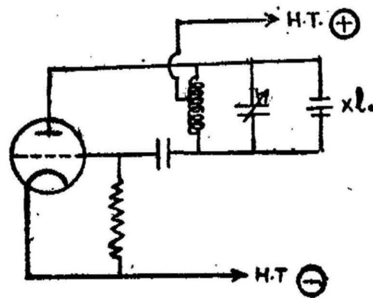
ஒரு படிகம் தாங்கியில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்விரு மின் வாய்களும் வால்வு அலைவியற்றியின் கிரிடு (Grid), தட்டு (Plate) இவற்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. மின்சுற்றில் அலைவியக்கம் ஏற்படும். படிகம் ஓர் ஒத்திசைவுச் சுற்றுக்குச் சமமானதால், வால்வு சுற்றின் அலைவியக்கத்தின் அதிர்வெண் படிகத்தின் சுய அதிர்வெண்ணை ஒத்திருக்கும். இந்த மின்சுற்றைக் கொண்டு காற்றில் செவியுணரா ஒலி அதிர்வுகளை எழுப்பலாம்.



படம் 97

ஹார்ட்லி (Hartly) சுற்றைப் பயன்படுத்தியும் (படம் 98) படிகத்தை இயக்கிச் செவியுணரா அதிர்வுகளை எழுப்புலாம். ஹார்ட்லி அலையியற்றியின் அதிர்வெண் படிகத்தின் சுய அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாக்கப்படுகின்றது. அலைவு மின்னழுத்தத்தைப் படிக முகங்களில் ஏற்ற, படிகத்தில் சக்தி வாய்ந்த அலைவுகள் ஏற்படும். திரவங்களில் செய்யும் சோதனைகளுக்கு இந்த அமைப்பு ஏற்றதாகும். படிகத்தைத் திரவத்தினுள் அமிழ்த்தி வைத்தால், திரவத்தில் செவியுணரா அலைவுகள் எழும். தக்க தாங்கிகளில் படிகத்தைப் பிடித்துத் திடப்பொருள்களிலும் செவியுணரா ஒலி அதிர்வுகளை எழுப்பலாம்.

பொதுவாக, குவார்ட்ஸ் படிகங்கள் செவியுணரா ஒலி அதிர்வுகளை எழுப்பப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மேலும் டூர்மலைன் (Tourmaline), இந்துப்பு, அமோனியம் டைஹைட்ரஜன் பாஸ்பேட், டைபொட்டாஷியம் டார்ட்டரேட், லித்தியம் ஸல்பேட் போன்ற மற்றப் பொருள்களும் செவியுணரா ஒலி அதிர்வுகளை உண்டாக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.



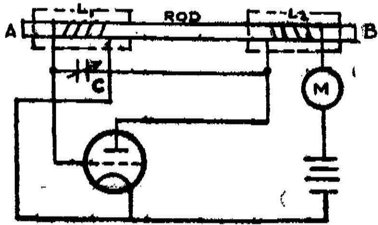
படம் 98

காந்தப் பரிமாண மாற்ற முறை (Magneto-striction Method)

எஃகு, நிக்கல், கோபால்டு போன்ற பெரோகாந்தப் பொருள்களாலான ஒரு தண்டினை அதன் நீளத்திற்கு இணையான

ஒரு காந்தப்புலத்துக்கு உட்படுத்தினால், அதன் நீளம் மாறுகிற தென்பதை ஜோல் (Joule) 1847ஆம் ஆண்டில் கண்டுபிடித்தார். இவ் விளைவிற்குக் 'காந்தப் பரிமாண மாற்ற விளைவு' (Magneto-striction Effect) என்று பெயர். தண்டின் நீளத்தின் மாற்றம் காந்தப்புலத்தின் வலிவைப் பொருத்திருக்கும். திசை மாறும் காந்தப்புலத்தைப் பயன்படுத்தினால், புல வலிமை வளரும் பொழுது தண்டின் நீளம் அதிகரிக்கும். எனவே, தண்டின் நீளம் மாறி மாறி நீண்டு குறையும். அதனால் தண்டு அதிர்வுறும். காந்தப்புலத்தின் அதிர்வெண்ணைப் போல் தண்டின் அதிர்வெண் இரு மடங்காகும். மாறாத காந்தப்புலமும், திசை மாறும் காந்தப்புலமும் ஒரே சமயத்தில் செயல்பட்டால், அதன் அதிர்வெண் திசை மாறும் புலத்தின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாகும் என்று நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. தண்டின் இயல்பான அதிர்வெண்ணும், திசை மாறும் காந்தப்புலத்தின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றினால், ஒத்திசைவு ஏற்பட்டுத் தண்டின் அதிர்வுகளின் வீச்சு அதிகரிக்கும். இவ் விளைவைப் பயன்படுத்திச் செவியுணரா ஒலி அதிர்வுகளை எழுப்பும் ஒரு முறையைப் பியர்ஸ் (Pierce) என்பவர் உருவாக்கியுள்ளார்.

ஒரே அச்சில் இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்ட L_1, L_2 என்னும் இரு காந்தமூட்டும் கம்பிச்சுருள்களில் ஒன்று ஒரு வெப்ப அயனி வால்வின் கிரிட் சுற்றுடனும், மற்றது அதன் தட்டுச் சுற்றுடனும் (plate circuit) இணைக்கப்பட்டுள்ளன. நடுவில் பிடிக்கப்பட்ட ஒரு நிக்கல் தண்டு (*AB*) அதன் இரு நுனிகளும் கம்பிச்சுருளின் அச்சுகளில் இருக்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 99). வால்வு அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணை மாறு மின் தேக்கியைக்கொண்டு கட்டுப்படுத்தலாம். ஆனோடு மின்னோட்டம் அதிகரித்தால்நிக்கல் தண்டின் நீளம் மாறும். அதனால் *C*-யில் பாயம் (flux) மாறும். அப்பொழுது கிரிட்டின் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும். ஆனோடு மின்னோட்டம் மேலும் அதிகரிக்கும். தண்டின் அதிர்வுகள் காக்கப்படும். மாறு மின்தேக்கியின் மதிப்பை மாற்றி அதிர்வுகளைக் கட்டுப்படுத்தலாம். தண்டின் நெட்டலைவு அதிர்வெண்ணும், அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றினால் ஒத்திசைவு ஏற்படும். ஒலி வலிவுள்ளதாயிருக்கும். தண்டு நடுவில் பிடிக்கப்பட்டிருப்பதால், அதன் இயல்பான அதிர்வெண் $n = 1/2l \sqrt{E/\rho}$ ஆகும். l தண்டின் நீளம், ρ



படம் 99

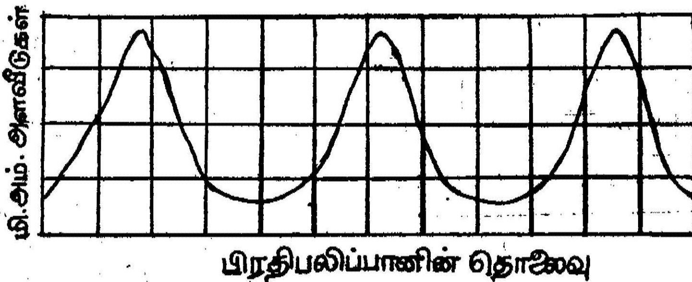
தண்டின் அடர்த்தி, E தண்டின் மீட்சிக் குணகம் தண்டின் நீளத்தை மாற்றி, அதிர்வெண்ணை விருப்பப்படி மாற்றிக்கொள்ளலாம். இம் முறையில் மிக வலிவான செவியுணரா ஒலி அலைகளை எழுப்பலாம்.

செவியுணரா ஒலியைக் கண்டுபிடித்தல் (Detection of Ultrasonics)

கீழ்க்கண்ட முறையில் சுலபமாக வாயுவில் செவியுணரா ஒலி அதிர்வுகளைக் கண்டுபிடிக்கலாம்; அதன் வேகத்தையும் கணக்கிடலாம்:

படம் 97-ல் உள்ள படிகத்தின் ஒரு முகத்தின் எதிரில் பிரதி பலிக்கும் தடை R ஒன்றை வைக்கவும். படிக முகத்திற்கும் பிரதிபலிப்பானுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு அரை அலை நீளத்தின் முழு எண் மடங்கில் இருந்தால், அந்த இடத்தில் நிலையலைகள் உருவாகும். R-ல் பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலைகள் படிக முகத்தை ஒரே கட்டத்தில் வந்தடைவதால் அலைவுகள் ஊக்கம் பெறும்.

அதனால் வால்வின் அலைவு மின்னோட்டம் அதிகரிக்கும். அப்போது வால்வின் பிளேட் சுற்றிலுள்ள மில்லி அம்மீட்டர், பிளேட் மின்னோட்டத்தைச் சிறும அளவில் காட்டும். பிரதி பலித்த அலைகள் எதிர்க்கட்டத்தில் படிக முகத்தை அடையுமாறு பிரதிபலிப்பானை விலக்கி நகர்த்திக்கொண்டே சென்றால், அலைவுகள் ஊக்கமிழக்க அலைவு மின்னோட்டம் குறையும். அப்போது மில்லி அம்மீட்டர் பெரும அளவைக் காட்டும். இவ்வாறாக, R-ன் தொலைவை மாற்றிச் சோதனையைச் செய்து தொலை



படம் 100

வையும் அம்மீட்டரின் அளவீடுகளையும் இணைத்து ஒரு வரை கோடு வரைந்தால், வரைகோடு பல பெருமங்களையும் பல சிறுமங்

களையும் காட்டும். அடுத்தடுத்துள்ள இரு பெருமத்தின் அல்லது சிறுமத்தின் தொலைவு செவியுணரா அதிர்வின் அரை அலை நீளத்தைக் கொடுக்கும். அலைமீட்டரைக் கொண்டு அதிர் வெண்ணையும் கண்டுபிடித்துச் செவியுணரா ஒலியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். இம் முறையில் எந்த வாயுவிலும் படிகத்தை வாயுத்தம்பத்தில் இருத்தி, செவுயுணரா ஒலி வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

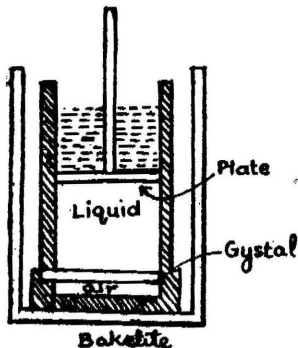
திரவங்களில் செவியுணரா ஒலியின் வேகம் காணல்

நிலையலைகள் முறையைக் கையாண்டு, திரவங்களில் செவியுணரா ஒலியின் திசை வேகத்தைப் பாயில் கண்டுபிடித்தார். குவார்ட்ஸ் அலைவியற்றியைக் கொண்டு ஒரு திரவத்தில் கிடைமட்டத்தில் ஒலியலைகள் தொடர்பாக எழுப்பப்பட்டன. ஒரு செங்குத்துத்தட்டினால் அவ்வலைகள் பிரதிபலிக்கப்பட்டுத் திரும்பி வந்தன. செவியுணரா ஒலிக்கற்றையின் பாதையில் தூவப்பட்ட கரித்துகள்கள் கீழுள்ள ஒரு வெண்தகட்டில் படிந்தன. இவை குண்ட குழாயில் உருவான மரத்தூள் படங்களை ஒத்திருந்தன. அதிர்விலாக் கோடுகளின் இடைப்பட்ட தொலைவை அளந்து செவியுணரா ஒலிவேகம் கணக்கிடப்படும்.

குப்பார்டு, லூாமீஸ் இருவரும் பியர்ஸின் கொள்கையில் ஒரு நுட்பமான குறுக்கீட்டு விளைவுமானியை உருவாக்கினார்கள். அதிர்வுறும் குவார்ட்ஸ் படிகம் பாத்திரத்தின் அடியில் வைக்கப்பட்டது. அலைநீளத்தை ஒப்பு நோக்கப் படிகத்தின் பரிமாணங்கள் பெரிதாயிருந்தன. படிகத்திற்கிணையாக அதற்கு மேலே பிடிக்கப்பட்ட ஒரு தட்டு ஒரு மைக்ரோமீட்டரின் உதவியால் நகர்த்தப்பட்டது. தட்டில் பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலைகள் படிகத்தை அடைய, பியர்ஸின் சோதனையைப் போல் வால்வு சுற்றில் மின்னோட்டம், தட்டை நகர்த்தும்பொழுது கூடிக் குறைந்தது. முன்போலவே அலைநீளத்தை அளந்து ஒலிவேகம் கணக்கிடப்பட்டது.

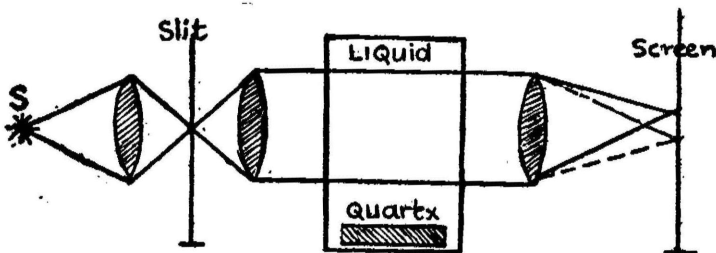
குறைந்த அலைநீளத்தில் இறுக்கமும் தளர்த்தியும் உள்ள முன்னேறு அலைகளை ஒரு திரவத்தின்மேல் கதிரேற்றம் செய்து, அதே சமயத்தில் ஒளிக்கதிரியக்கத்தையும் செய்தால் கீற்றணியில் ஏற்படுவதைப் போல் ஒளி விளிம்பு விலகல் ஏற்படும் என்று பிரில்லோயின் (Brillouin) என்பவர் கூறினர். இந்த யோசனையின்படி திரவத்திலும், திடப்பொருள்களிலும் செவியுணரா ஒலி வேகத்தைக் காணப் பல முறைகள் உருவாக்கப்பட்டன. ஓர் எளிய அமைப்பில் செவ்வகக் கண்ணாடிக் கலத்தில் திரவம்

அடங்கியுள்ளது. கலத்தின் அடியில் உள்ள ஒரு பீஸோ மின்னியற்றித் தட்டு வால்வு அலையியற்றியால் இயக்கப்படுகின்றது.



படம் 101

ஒரு பிளவிலிருந்து இணையான ஒற்றை நிற ஒளிக்கற்றை திரவத்தின் வழியே செலுத்தப்பட்டு வெளியேறும் ஒளி ஒரு வில்லையினால் ஓர் ஒளிப்படத்தட்டில் குவிக்கப்படுகிறது. செறிவுள்ள விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் கிடைக்கப் பெறும். $2d \sin \theta = n\lambda$ என்னும் சமன்பாட்டைக் கொண்டு, திரவத்தில் அலைநீளம் 'd' கணக்கிடப்படுகின்றது. λ ஒளியின் அலைநீளம், n விளிம்பு விலகல் வரிசை, θ விளிம்பு விலகல் கோணம் ஒலியின் அலைநீளத்தை (d) இவ்வாறாகக் கண்டு திரவத்தில் செவியுணரா ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.



படம் 102

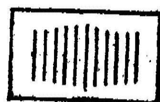
செவியுணரா ஒலி ஏற்பிகள் (Receivers for Ultrasonics)

செவியுணரா ஒலியைக் கண்டுபிடிக்க நாம் இதுவரை விவரித்த முறைகள் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கும் முறைகளாகும். இவையல்லாமல் வேறு சில முறைகள் செவியுணரா ஒலிகளைக் கண்டு பகுப்பாய்தல் செய்ய உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. பெரும்பான்மையான செவியுணரா ஒலி ஏற்பிகள் பீஸோ அழுத்த மின் துடிப்பான் விளைவு, காந்தப்பரிமாண மாற்றமுறை எதிர் விளைவு இவற்றின் அடிப்படையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அழுத்த மின் துடிப்பான், காந்தப்பரிமாண மாற்ற ஏற்பிகள்,

செவியுணரா ஒலியை எழுப்பப் பயன்பட்ட அதே முறைகளில் செயல்படுகின்றன.

உயர் அதிர்வெண்ணில் மிகு இறுக்க அலைகள் குவார்ட்ஸ் பட்டையில் பட்டு அவற்றில் அதிர்வை உண்டாக்க, அவற்றின் மின்னச்சு வழியே மாறுதிசை மின் அழுத்தம் உருவாகும். இது வால்வு பெருக்கிகளால் பெருக்கப்பட்டு உணரப்படும்.

இதே முறையில் காந்தப் பரிமாண மாற்ற முறை ஏற்பிகளும் செயல்படுகின்றன. இவற்றில் பயன்படும் பெருக்கிகள் 2 முதல் 5 நிலை வரைப் பெருக்கங்களைச் செய்யக் கூடியவை. வெளிவரும் மின்னழுத்தம், வெற்றிடக் குழாய் மின்னழுத்தமானிகள் போன்ற அமைப்பினால் அளவிடப்படும். மாறாக, கேதோடு கதிர் ஆசிலோகிராபைப் பயன்படுத்தி வெளிவரும் மின்னழுத்தத்தை ஆசிலோகிராபின் திரையில் தோன்றச் செய்யலாம். ஏற்கும் படிகத்தின் அதிர்வெண்ணும், படும் செவியுணரா ஒலியின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றும்போது ஆசிலோகிராபின் நுட்பம் மிகுந்து காணப்படும்.



படம் 108

செவியுணரா ஒலிகளை எழுப்பும் பொருள்களில் கணுக்களும், எதிர்க்கணுக்களும் உண்டாகின்றன. அதனால் கணுவில் மாறி மாறி இறுக்கமும், தளர்த்தியும் உருவாகும். அதனால் கணுவில் மாறி மாறி வெப்பமும், குளிர்ச்சியும் ஏற்படும். கணுவில் பிளாட்டினம் கம்பியைச் சுற்றினால் அதில் வெப்ப மாறுதலேற்பட்டு அதன் மின்தடை மாறுபடும். இவ் விளைவைப் பயன்படுத்தியும் செவியுணரா ஒலியலைகளைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

பண்புகள்

செவியுணரா ஒலி சாதாரண கேள்வி ஒலியைப் போல் செயல்படும். பிரதிபலித்தல், எதிரொலித்தல், ஒலி விலகல், உட்கவரல் போன்ற எல்லாப் பண்புகளுமே இரண்டுக்கும் உண்டு. ஆனால், இரண்டுக்கும் சில முக்கிய வேறுபாடுகள் உண்டு. கேள்வியொலிகளின் அதிர்வெண்கள் 20,000-க்கும் கீழ் இருக்கும். செவியுணரா ஒலியின் அதிர்வெண்கள் 20,000-க்கும் மேற்பட்டிருக்கும். அதிர்வெண் மிக அதிகமாயிருப்பதால், அது ஆற்றல் மிக்கதாயிருக்கும். செவியுணரா ஒலியலைகளின் நீளம் மிகக் குறைவாயிருக்கும். அதனால் செவியுணரா ஒலியின் விளிம்பு விலகல் விளைவைக் கேள்வியொலிகளைப்போல் சுலபமாகக் காண முடியாது.

பயன்கள்

செவியுணரா ஒலியின் அதிர்வெண் மிக அதிகமாகவும், அதன் அலைநீளம் குறைவாயுமிருப்பதால், செவியுணரா ஒலிஅளவு கடந்த ஆற்றல் பெற்றுள்ளது. இதனுல் பல துறைகளில் இது பயன்படுகின்றது. அவற்றின் முக்கியமான பண்புகளை ஆராய் வோம்:

(அ) விஞ்ஞானத் துறை

செவியுணரா ஒலி குறுக்கீட்டுமானியைக் கொண்டு திட, திரவப் பொருள்களில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். குறுக்கீட்டுமானியில் செவியுணரா ஒலியலையை எழுப்ப ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகமும், அவற்றைப் பிரதிபலிக்க ஓர் ஆடியு முள்ளன. படிகத்தினின்று எழும் ஒலியலைகளும், ஆடியில் பிரதி பலித்து வரும் ஒலியலைகளும் ஒன்ருேடொன்று பொருந்த நிலை யலைகள் உருவாகும். அலைநீளத்தை அளந்து அதிர்வெண்ணைத் தெரிந்து, படிகத்திற்கும் ஆடிக்கும் இடைப்பட்ட பொருளில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

வோல்ட்டா மின்கலத்தில் ஹைட்ரஜன் குமிழிகள் மின் வாய்களை மறைப்பதனுல் துருவகரணம் என்னும் குறையேற் படுகிறது என்பதை நாமறிவோம். செவியுணரா ஒலியலைகளை மின்கலத்தினுள் அனுப்பிக் குமிழிகளைக் கலைத்துக் குறையேற் படுவதைத் தவிர்க்கலாம். கலக்காத இரு திரவங்களை ஒரு பாத்தி ரத்தில் வைத்து, அதனுள் செவியுணரா ஒலியலைகளை அனுப்பி ணுல், இரு திரவங்களும் நன்ருகக் கலந்துவிடும்.

(ஆ) தொழில் துறை

தொழில் துறையில் செவியுணரா ஒலி பல வகைகளில் பயன்படுகின்றது. இரு திரவப் பொருள்களின் கலவையில் இவ்வொலியை அனுப்பினுல், திரவ உட்குழிவு (Cavitation) ஏற்படும். ஒலி செலுத்துவதை நிறுத்தியவுடன் குழிவு கலையும். அப்பொழுது அவற்றிற்குள் பெரிய அழுத்தம் ஏற்பட்டு இரு திரவங்களும் இணைந்து குழம்பாகின்றன. இம் முறையைப் பயன்படுத்தி உருவப்படம் பிடிப்பதற்கு வேண்டிய ஃபோட்டோ மெல்லேடுகளையும் (Films), தகடுகளையும் தயாரிக்கின்றனர். இது போலவே உலோகக் குழம்பைச் சேர்த்துக் கலப்பு உலோகம் (Alloy) செய்கின்றனர்.

செவியுணரா அதிர்வெண்ணில் துடிக்கும் ஒரு நுண்ணிய கண்ணுடித் துண்டினுல் கண்ணுடிப்பலகை, எஃகுத் தகடு,

வைரம் முதலியவற்றில் எளிதில் துளையிடலாம். இப் பண்பைப் பயன்படுத்திச் செவியுணரா ஒலித் துரப்பணங்கள் (Ultrasonic Drills) செய்து, செயற்கைப் பற்கள் செய்யும் தொழிலில் பயன் படுத்துகின்றனர்.

நுண்பொருள்களைச் சுத்தம் செய்வதற்குக்கூடச் செவியுணரா ஒலிக் கருவிகள் செய்யப்படுகின்றன. செவியுணரா ஒலியலை களால் தாக்கினால் துணிகளிலுள்ள தூசுகளும் அழுக்குத்துகள் களும் சிதறிப் பறந்து விடும். இம் முறையைக் கொண்டு செவி யுணரா ஒலி சலவைக் கருவிகளைச் செய்யலாம். அதனால் குறுகிய காலத்தில் குறைந்த செலவில் அதிகத் துணிகளைச் சலவை செய்யலாம்.

செய்து முடிக்கப்பட்டுள்ள உலோகப் பொருள்களினுள் பிளவுகளும், காற்றுக் குமிழிகளுமிருக்கலாம். இக் குறைகளுடன் உலோகப் பொருள்களைப் பயன்படுத்தினால் கருவிகள் எளிதில் பயனற்று விடும். அதைத் தவிர்க்கக் குறையுள்ள உலோகப் பகுதிகளை நீக்கி, குறையற்ற பகுதிகளைக் கண்டுபிடிக்கச் செவி யுணரா ஒலியைப் பயன்படுத்துகின்றனர்.

(இ) மருத்துவத் துறை

மருத்துவத் துறையிலும் செவியுணரா ஒலியின் பயன்கள் எண்ணிலடங்கா. கொடிய நோய்க்கிருமிகளும், பாக்டீரி யாக்களும் செவியுணரா ஒலியலைகளால் கொல்லப்படுகின்றன. எலி, ஈ, கரப்பான், கொசு முதலியவற்றைக் கொல்லப் பிளிட், டி.டி.டி. முதலியவற்றிற்குப் பதில் இவ்வொலியலைகளைப் பயன் படுத்தலாம். பித்தக் கற்களையும் (Gall Stones), சிறுநீரகக் கற்களையும் (Kidney Stones) இவ் வலிவு மிக்க ஒலியலைகளைக் கொண்டு உடைத்துத் தகர்க்கலாம். தூளாக்கப்பட்ட கற்கள் எளிதில் வெளியில் வந்துவிடும். கண்பார்வையற்றோர் உப யோகத்திற்கென மேல் நாடுகளில் புதுவகை ஊன்றுகோல் (walking stick) ஒன்று தயார் செய்துள்ளனர். செவியுணரா ஒலியலைகளை அனுப்பவும் ஏற்கவும் இக் கோலில் நுட்பக் கருவிகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன.

அறுவை சிகிச்சையில் இப்பொழுதெல்லாம் அறுவைக் கத்திக்குப் பதில் செவியுணரா ஒலியலைகளைப் பயன்படுத்தும் முறையைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். நோயுற்ற உடற்பகுதிக்குள் இவ்வலைகளைச் சரியாக அனுப்பி நோயுள்ள பகுதிகளை மட்டும் நீக்கலாம். அதாவது கத்தியின்றி இரத்தமின்றி அறுவை

சிகிச்சை செய்யலாம். இம் முறையில் மூளையினுள் அறுவை சிகிச்சை செய்யப்படுகின்றது.

(ஈ) மற்ற பயன்கள்-சோனர் (Sonar)

மேற்கூறிய பயன்களல்லாமல் மேலும் சில முக்கியமான பயன்களுமுள்ளன. திறந்த வெளியில் செயல்படும் ராடாரைப் (Radar) போன்று நீரில் செயல்படும் சோனர் (Sonar) என்னும் கருவியொன்று செய்யப்பட்டுள்ளது. எதிரொலிப்புக் கொள் கையில் இது செயல்படுகின்றது. இக் கருவியைக் கொண்டு நீரில் செவியிணரா ஒலியை எழுப்பி, அவ்வொலியலைகளை நீரினுள் அனுப்பினால் அவை பொருள்களின்மீது பட்டுப் பிரதிபலித்துத் திரும்பவும் இக் கருவியை வந்தடையும். பிரதிபலித்து வந்தடை யும் அலைகளின் திசையிலிருந்தும் அவை எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்திலிருந்தும் தடைப்பொருள்கள் இருக்கும் இடத்தை எளிதில் கணித்துவிடலாம். இச் சோனர் போர்க்காலங்களிலும் சமாதான காலங்களிலும் பல வகைகளில் பயன்படுகின்றது. இதைக் கொண்டு போர்க்காலங்களில் நீர்மூழ்கிக் கப்பல் போன்ற எதிரியின் தளவாடங்களைக் கண்டுபிடித்து அழிக்கவும், சமாதான காலங்களில் பனிப்பாறை மற்றும் நீரின் மட்டத்திற்குக் கீழுள்ள பாறை முகடுகளையும் கண்டுபிடித்து ஆபத்துகளைத் தவிர்க்கவும் செய்யலாம். கடலின் ஆழத்தையும் காணலாம். மேலும், கடலினடியில் குடும்பம் குடும்பமாய்ச் சேர்ந்து வாழும் மீன் கூட்டங்களையும் (shoals of fish) கண்டுபிடிக்கலாம். கடலில் கப்பல்களுக்கிடையேயும், ஆகாயத்தில் விமானங்களுக் கிடையேயும் செய்திகள் அனுப்பிக்கொள்ளவும் இந்தச் செவி யுணரா ஒலியலைகள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

மேலே விவரிக்கப்பட்ட பயன்களல்லாமல் இன்னும் எண்ணிலடங்கா பயன்கள் உள்ளன. வேதியியல் வினை பல உள்ளன. சில வேதியியல் செயல்கள் முடுக்கம் பெறுகின்றன. செயலற்ற சில வேதியியல் வினைகள் செவியுணரா ஒலியலையால் செயல்படுகின்றன. அதாவது செவியுணரா ஒலியலைகள் வினை ஊக்கிகளாகச் செயல்படுகின்றன. சில வேதியியல் செயல்கள் இவ்வொலியலையால் குறைந்த வெப்ப நிலையிலேயே நடைபெறு கின்றன.

செவியுணரா ஒலியலைகளைக்கொண்டு பாலை எளிதில் பதனிட லாம் என்றும் கண்டுள்ளனர்.

செவியுணரா ஒலி அதிர்வெண்கள் கட்டடக் கலையிலும் பயன்படுகின்றன. பெரிய அரங்குகளின் சிறிய மாதிரிகளை

இவ்வொலியியலைக் கொண்டு ஆராய்ந்து கட்டடத்தைக் குறை யற்றதாக நிர்மாணிக்க முடியும். இடப்பொருள்களின் மீட்சிக் குணகங்களையும் செவியுணரா ஒலியலைகளைக் கொண்டு கண்டு பிடிக்கலாம்.

பீஸோ-மின் மைக்ரோபோன் (Piezo-electric Microphone)

பீஸோ-மின் விளைவால் படிகங்களில் உயர் அதிர்வெண் அதிர்வுகள் உண்டாகும் என்பதை நாமறிவோம். இவ் விளைவைப் பயன்படுத்தி, பீஸோ-மின் மைக்ரோபோன்கள் செய்யப்படு கின்றன. இவ்வித மைக்ரோபோன்களில் இரு வகைகள் உள்ளன. ஒன்று இடைத்திரை வகை எனப்படும்; மற்றொன்று ஒலிக்கலம் வகை எனப்படும்.

இடைத்திரை வகை மலிவும் எளிமையும் ஆனது. இதில் இரு பீஸோ-மின் படிகங்கள் (x_1 x_2) அவற்றின் பின்பக்கம் இணைந்து ஒட்டியும், முகங்கள் வெளிப்புறம் பார்த்தும் உள்ளன. மின்னழுத்தத்தைப் படிக முகங்களுக்கு ஏற்றினால் ஏற்படும் விளைவு, முனைகளில் பதித்து மையத்தில் எடையேற்றிய சிறிலா



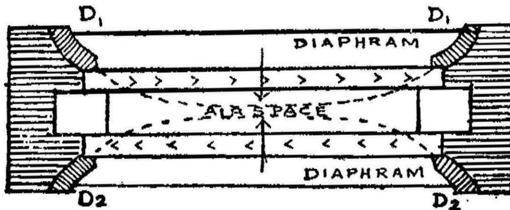
படம் 104

வளைவுத்தண்டை ஒத்திருக்கும். கீழுள்ள படிகம் விரிவடையும். மேலுள்ள படிகம் சுருங்கும். மாறாகப் படிகக்கூட்டில் வளைவு விளைவு உண்டானால், படிக முகங்களுக்கிடையில் ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு உருவாகும். ஒலியலைகளால் உருவாகும் அழுத்த மாற்றம் ஒரு பொத்தான் கதிர் அமைப்பினால் படிகக்கூட்டின் மையத்திற்கு அனுப்பப்படுகிறது. படிகக்கூட்டு மேலும் கீழும் வளைந்து பீஸோ-மின்னழுத்தங்களை உருவாக்கும். ஒலி ஆற்றல் மின்னாற்றலாக மாறி இவ்வமைப்பு மைக்ரோபோனைப் போலச் செயல்படும். இது ஒரு பெருக்கியால் பெருக்கப்பட்டு ஓர் ஒலிப் பானால் திரும்பவும் ஒலியாக மாற்றப்படுகின்றது. வெளிவரும் அளவு சிறந்த கார்பன் மைக்ரோபோனால் கிடைப்பதை ஒத் திருக்கும்.

இந்த மைக்ரோபோனுக்குக் கீழ்க்கண்ட தனித்தன்மைகள் உண்டு: (i) இதில் பொதிவு (Packing) நிகழ்ச்சி இராது. (ii) எந்த நிலையிலும் இதை நிறுத்திக்கொள்ளலாம். (iii) அதிர்

வெண் உணர்வு நுட்பம் மிகவும் சிறந்திருக்கும். அதனால் இது பேச்சொலியின் பண்பு மிக்க மீட்புக்கு மிகவும் ஏற்றதாகும்.

ஒலிக்கல பீஸோ-மின் மைக்ரோபோன் இடைத்திரை வகையின் தழுவல். ஆனால், இது மேன்மையான வெளிவிடு தன்மையும் முழுமையான எதிர்வெண் ஆக்கமும் உள்ளது. தனி ஒலிக் கலத்தின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் படத்தில் (105) காட்டப் பட்டுள்ளது. பக்க அளவு 2·5 செ.மீ. உள்ள சதுர வடிவம் கொண்டது. படிகமும் 0·5 செ.மீ தடிமனில் 1·25 செ.மீ. சதுர வடிவத் தகடுகளாகும். படிகத் தகடுகள் ஒன்றாக இணைத்து ஒட்டப்பட்டுள்ளன. அதைப் போன்ற இரு இணைப்புகள் இடையில் காற்றிடத்தை அடக்கிக் காப்புப் பொருள்களாலான ஒரு சதுரச் சட்டத்தில் தாங்கப்பட்டுள்ளன. படிகங்களின் சுதந்தரமான அசைவுக்கு இடைக் காற்றிடம் வகை செய்கின்றது. இரு இடைத்திரைகள் (D_1 D_1, D_2 D_2) படிக இணைப்புகளை உள்ளடக்கியுள்ளன. இடைத்திரைக்கும் படிக இணைப்புக்கும் இடையில் உள்ள இடம் காற்றுப்புகாவண்ணமும், ஈரம்



படம் 105

புகாவண்ணமும் செய்யப்பட்டுள்ளது. ஒலியலைகள் இடைத் திரையைத் தாக்க அது அழுத்த வேறுபாடுகளைப் படிக இணைப் புக்குச் செலுத்துகிறது. இரு படிக இணைப்புகளும் அவற்றில் உருவாகும் மின்னழுத்தம் ஒரே கட்டத்தில் இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன.

பல ஒலிக்கல இணைப்புகளை ஒன்றின்மேல் ஒன்றாக வைத்து, அவற்றின் வெளியீடுகள் தொடராகவோ, இணையாகவோ, கூட்டாகவோ இணைக்கப்படுகின்றன. இக் கூட்டுத் தொகுதி ஒரு பிணைச்சட்டத்தினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒத்திசைவு அதிர்வெண் விநாடிக்கு 12,000 சைக்கிள்களாகும். மின்னாற்றல் எப்போதும் போல் பெருக்கப்பட்டு, ஒலியாக மாற்றப்படும்.

ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட ஒலிகள் (Supersonics)

கேள்வி எல்லையைத் தாண்டிய அதிர்வெண்கள் உள்ள ஒலிகள் அல்ட்ராசானிக்ஸ் அல்லது செவியுணரா ஒலிகள் எனப் படும் என்பதை நாமறிவோம். சில சமயங்களில் இவ்வொலி யைச் சூபர்சானிக்ஸ் என்றும் அழைப்பார்கள். ஆனால், இப் பதம் வேகத்தைக் குறிக்குமே தவிர, அதிர்வெண்ணைக் குறிக் காது. ஆகையால், ஒலியின் வேகத்திற்கு அதிகமான வேகங் களைச் சூபர்சானிக்ஸ் என்று பிரித்துணர வேண்டும். எனவே, அல்ட்ராசானிக்ஸ் என்பது கேள்வி எல்லைக்கு மேற்பட்ட அதிர் வெண்களைக் குறிக்கும் எனவும், சூபர்சானிக்ஸ் என்பது ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகங்களைக் குறிக்கும் எனவும் நாம் அறிய வேண்டும். இப் பிரிவில் ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகத்தில் நகரும் பொருள்களைப்பற்றியும், அவற்றின் பல்வேறு விளைவுகளையும் ஆராய்வோம்:

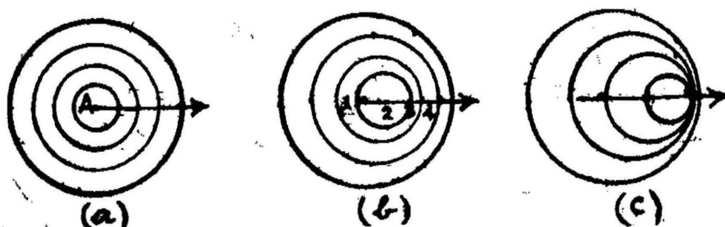
கடல் மட்டத்தில் ஒலி விநாடிக்கு 350 மீட்டர் வேகத்தில் செல்கிறது. உயரம் அதிகரிக்கக் காற்று குளிர்ச்சியாகவும், அடர் குறைவாகவும் ஆவதால், ஒலி வேகம் குறையும். சுமார் 10 கி.மீ. உயரத்தில் ஒலி வேகத்தின் அளவு விநாடிக்கு 293 மீட்ட ராகக் குறைந்துவிடுகிறதென்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. ஆஸ்திரேலிய விஞ்ஞானி ஏர்ன்ஸ்ட் மேச் (Earnst Mach) என்ப வரின் பெயரில் எந்த இடத்திலும் ஒலியின் வேகம் 'மேச்' என்று குறிப்பிடப்படுகின்றது. சில சமயங்களில் பொருள்களின் வேகம் மேச் அல்லது **'மேச் நம்பரின்'** (Mach Number) அடிப்படையில் குறிப்பிடப்படுகிறது. ஒரு பொருளின் **'மேச் நம்பர்'** அப் பொரு ளின் வேகத்திற்கும், அவ்விடத்தில் காற்றில் ஒலியின் வேகத் திற்குமுள்ள விகிதம் என்று எடுத்துக்கொள்ளப்படும். அதாவது பொருளின் திசை வேகம் 'V' எனவும், அவ்விடத்தில் காற்றில் ஒலியின் வேகம் C எனவும் இருந்தால், அப் பொருளின் மேச் நம்பர் V/C ஆகும். பொருள் ஒலியின் வேகத்தில் ஓடினால் அப் போது பொருளின் மேச் நம்பர் ஒன்றாகும்.

ஒரு பொருளின் வேகம் ஒலியின் வேகத்தைவிட அதிகமாக இருந்தால், அதன் மேச் நம்பர் ஒன்றுக்கு மேற்பட்டது என்று பெறப்படும். உதாரணமாக, ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 350 மீட்டராகவுள்ள ஓரிடத்தில் ஓர் ஆகாய விமானம் 490 மீட்டர் வேகத்தில் சென்றால், அதன் மேச் நம்பர் 1·4 எனப்படும். இது போல எந்த ஒரு பொருளின் வேகத்தையும் மேச் நம்பரின் அடிப் படையில் கணக்கிடலாம். காற்றில் ஒலியின் வேகம் வெப்ப நிலையைச் சார்ந்துள்ளது என்பதை நாமறிவோம். எனவே,

மாறாத வேகத்தில் செல்லும் ஒரு பொருளின் மேச் நம்பரும் வெப்ப நிலையைச் சார்ந்திருக்கும்.

ஒரு பொருள் காற்றில் செல்லும்பொழுது அழுத்த அலைகளை உருவாக்கும். இவ்வலைகள் ஒலியின் வேகத்தில் பரவும். ஒலி வேகத்தைவிடக் குறைந்த வேகத்தில் ஒரு பொருள் சென்றால், அழுத்த அலைகள் பொருளின் திசையில் எல்லா இடங்களையும் பொருளைவிட முன்பாக அடையும். அதனால் பொருள் வருவதைக் காற்று முன்பாகவே உணர்ந்து தடங்கலில்லாமல் பொருள் முன்னேறுவதற்கு ஒழுங்கு செய்துகொள்ளும். ஓடும் பொருளை முன்னேறிச் செல்லும் காற்றின் அடர்த்தியில் வேறுபாடு ஏற்படாது. ஆனால் ஓடும் பொருளின் வேகம் அதிகரித்தால் இந் நிலை மாறுபடும். பொருளின் வேகம் ஒலியின் வேகத்தை அடையும்பொழுது அழுத்த அலைகள் பொருளுக்கு முன்னால் செல்ல முடியாது. அதனால் முன்னுள்ள காற்று ஓடிவரும் பொருளுக்குக் குறைந்த எதிர்ப்பைக் கொடுக்குமளவு ஒழுங்கு நிலையை அடைந்திராது. மாறாக அக் காற்று பலமாக இறுக்கப்பட்டுத் திடீர் அதிர்ச்சியுடன் பொருளை எதிர்த்து வரும்.

இந் நிகழ்ச்சியைக் கீழ்க்கண்ட முறையில் தெளிவுற விளக்கலாம்: ஒரு நிலையான பொருள் (*A*) அழுத்த அலைகளை வெளி அனுப்புவதாக வைத்துக்கொள்வோம். அடுத்தடுத்து புறப்



படம் 106

படும் அலைகள் ஒரு மையக் கோளங்களாகப் பரவும் (படம் 106*a*). ஒலி வேகத்தை நெருங்கிய வேகத்தில் பொருள் நகரும்பொழுது, அடுத்தடுத்த இடங்களில் (1, 2, 3, 4) இருக்கும்பொழுது உருவாக்கும் அலைகள் படம் 106b-ல் உள்ளதைப்போல் பரவும். ஒலியின் வேகத்தில் பொருள் நகரும்பொழுது அழுத்த அலைகள் படம் 106c-ல் உள்ளதைப்போல் பரவும். இப்பொழுது பொருளும் அலைகளும் சேர்ந்து நகர்வதால் இறுக்க அலைகள், பொருளை ஒப்பு நோக்க, முன் திசையில் அனுப்பப்படுவதில்லை. அலைகள் அடுக்கப்

பட்டு முன்னுள்ள ஊடகத்தால் ஒரே சமயத்தில் ஏற்கப்படுகின்றன. இவ்வலைகள் இறுக்க அலைகள் அல்லது அதிர்ச்சி அலைகள் (Shock Waves) எனப்படும்.

பொருள் ஒலியைவிட வேகமாகச் செல்லும்பொழுது இவ் விளைவே முற்றிலும் மாறாகத் தோன்றும். பீரங்கிக் குண்டு அல்லது துப்பாக்கிக் குண்டு ஒலியைவிட வேகமாக ஓடும் பொழுது இது நிகழும். சமநேர இடைவெளிகளில் வெளியிடப் படும் அழுத்த அலைகளின் அடுத்தடுத்த இடங்கள் 1, 2, 3, 4-ஐக் காட்டும் படங்களை வரைந்தால், படம் 107-ல் உள்ளதைப்போல் கிடைக்கும். பொருள் t_1 விநாடிகளில் vt_1 தொலைவு நகர்ந்தால், ஒலிக்கலக்கம் ct_1 தொலைவைக் கடக்கும். இருகோடுகள் அல்லது கூம்பு கோளத்தின் உறையாகும் (Envelope). இவ்வுறையே அதிர்ச்சி அலைகள் ஆகும். இது பீரங்கிக் குண்டு அலைகள் (Shell Waves) அல்லது 'ஆண்டிசோக்' எனப்படும். எல்லாக் கோளங் களுக்கும் பொதுவான தொடுகோடு *E S* ஆனது *O*-ல் புறப்பட்ட பொருள் *S*-ஐ அடையும் நேரத்தில் அழுத்த அலைகள் எல்லாம் அடையும் எல்லையைக் குறிக்கும். சமநேரத்தில் பொருள் சென்ற தூரம் *O S* என்பதும், ஒலி அல்லது அழுத்த அலைகள் சென்ற தூரம் *O E* என்பதும் தெளிவாகின்றது. கூம்பின் அரை உச்சிக் கோணம் θ ஆனால்,

$$\text{Sin}\,\theta = \frac{O\,E}{O\,S} = \frac{ct_1}{vt_1} = \frac{c}{v} \text{ ஆகும்.}$$

ஆனால், மேச் நம்பர் $= v/c$

$$= \frac{1}{c/v}$$

$$= 1/\sin\theta.$$

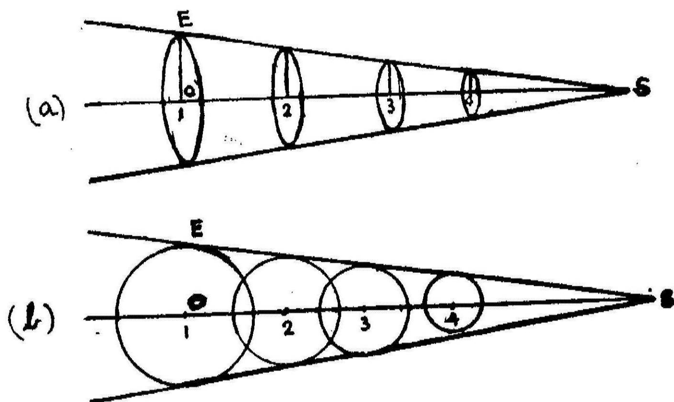
அதாவது பொருளின் மேச் நம்பர் $= 1/\sin\theta$.

இந்தக் கோணம் 'θ' மேச் கோணம் எனப்படும்.

தொடு கோடு *E S* மேச் கோடு எனப்படும்.

சாதாரணமாகப் பொருளை ஒட்டி, அதன் முன்பிருந்து அல்லது பொருளின்மேலிருந்து அதிர்ச்சி அலைகள் எழும். ஆனால், காற்றின் வேகம் அதிகம் உள்ள இடத்திலிருந்தும் அவை உருவாகலாம். உதாரணமாக, பொருளின் பரப்பு வளைவு, காற்றின் வேகத்தை ஒலியின் வேகத்தைவிடக் கூடுதலாக்கு மானால், ஒலியைவிடக் குறைந்த வேகத்தில் செல்லும். அப் பொரு ளின் அருகில் அதிர்ச்சி அலைகள் உருவாகும். ஒலி வேகத்திற்கு

மேற்பட்ட வேகத்தில் செல்லும் துப்பாக்கிக் குண்டினால் காற்றில் உருவாகும் அதிர்ச்சிஅலைகளைப் படம் 108 *a*-யிலும், ஒலி

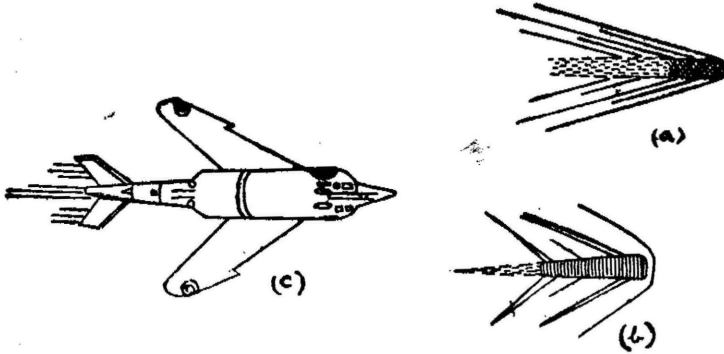


படம் 107

வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகத்தில் பின்னோக்கிச் செல்லும் அதிர்ச்சி அலைகளைப் படம் 108 *b*-யிலும், ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகத்தில் செல்லும் ஜெட் பிளேனினால் உருவாகும் அதிர்ச்சி அலைகளைப் படம் 108 *c*-யிலும் காணலாம்.

ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகத்தில் பறக்கும் ஆகாய விமானத்தினால் உண்டாகும் அதிர்ச்சி அலைகள் சில சமயம் பார்வையாளரைக் கடந்து பூமியை அடையும்பொழுது கூரிய வெடியொலியைப்போல் கேட்கும். இந்த வெடிப்பொலிக்கு ஒலி முழக்கம் (Sonic Boom or Bang) என்று பெயர். இந்த ஒலி முழக்கத்தின் ஆற்றல் சில சமயம் கட்டடங்களைச் சிதற அடிக்கும் அளவு வலிமையுள்ளதாயிருக்கும். இவ் வகைச் சேதங்களைத் தவிர்ப்பதற்கு ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகத்தில் பறக்கும் ஆகாய விமானங்கள் மிக உயரத்தில் பறக்குமாறு கட்டுப் படுத்தப்படுகின்றன. இயந்திரம், விமானம் இவற்றின் இரைச்சல்கள், ஒலி முழக்கத்தை உருவாக்கும் அதிர்ச்சிகளிலிருந்து தெளிவாகக் கேட்கும். இதுபோல, அதிர்ச்சி அலைகளை உண்டாக்கும் மிக வேகத்தில் செல்லும் துகள்களும், குண்டுகளும் அலைகள் பிரிந்து பூமியை அடையும்பொழுது ஒலி மூலங்களாகின்றன. சாட்டையின் சொடுக்கும், இடியின் முழக்கமும் சிறந்த உதாரணங்களாகும். தொலைவில் சுடப்படும் துப்பாக்கியினின்று மூவகையான ஒலிகளைக் கேட்கலாம். சாட்டையின்

சொடுக்கொலியை ஒத்திருக்கும் அதிர்ச்சி அலை ஒலி முதலில் கேட்கும். துப்பாக்கியின் வாயில் எழும் பஸ்ஸிங் (buzzing) ஒலி



படம் 108

அடுத்துக் கேட்கும். குண்டு இலக்கைச் சுட்டபின் எழும் மூன்றாவது ஒலி கடைசியில் கேட்கும். வேறு வகையான வெடித்தல்களும் அதிர்ச்சி அலை ஒலிகளை உண்டாக்கும். இவ்வொலிகளும் முன் குறிப்பிட்ட ஆகாய விமானங்களின் ஒலி முழக்கத்தை ஒட்டியிருக்கும். இவ்வொலிகள் கேட்கும் சூழ்நிலைகளைக் கீழ்க் கண்டவாறு விளக்கலாம்: மிகுந்த வேகத்தில் செல்லும் துப்பாக்கிக்குண்டின் மூக்கினருகில் எழும் நெருக்கம் பக்கவாட்டில் அல்லது குறுக்காகப் பரப்பப்படுகின்றதே அல்லாமல் குண்டின் திசையில் பரப்பப்படுவதில்லை. ஆகையால், ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகத்தில் ஒரு பார்வையாளரை நெருங்கும் குண்டிலிருந்து ஒலி கேட்பதில்லை. ஆனால், பார்வையாளரைத் தாண்டிச் செல்லும்பொழுது குறுக்கலைகளாகப் பரவுவதால் கேட்கப்படுகிறது. அதுபோல ஓர் ஆகாய விமானம் ஒலி வேகத்தைத் தாண்டிய வேகத்தில் ஒருவரை நெருங்கும் பொழுதும் ஒலியேதும் கேட்பதில்லை. ஆனால், பார்வையாளரின் தலைக்குமேல் பறந்து செல்லும்பொழுதும் திசை மாறும் பொழுதும் ஒலி கேட்கும்.

அதிர்ச்சி அலைகள் காற்றின் அழுத்தத்திலும், அடர்த்தியிலும் திடீர் ஏற்றத்தை உண்டுபண்ணும். இந்த ஏற்றம், பொருளைச் சுற்றிக் காற்றோட்டத்தை நிறுத்திப்பொருளின் வேகத்தில் இறக்கத்தையோ, இழுவையையோ ஏற்படுத்துகிறது; காற்றின் வரம்புக்குட்பட்ட திசைவேகத்தினால் உண்டாகும்

இழுவையோடு சேர்ந்துவிடும். இந்த இழுப்பு மேச் நம்பரின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதை நிரூபிக்கலாம். ஒலி வேகம், ஒலிக்கு அதிகமான வேக ஓட்டங்களுக்கு இந்த இழுப்பு ஓர் உண்மையான பிரச்சினையாகும். இந்த இடையூறுகளுக்கு ஒலித் தடுப்பு (barrier) என்று பெயர். இவை ஒலி வேகத்தைத் தாண்டிய வாயு இயக்கவியலில் நீராவி டர்பைன், பெருவேக எறி பொருள் துப்பாக்கி, மற்றும் பெருவேக ஓட்டப் பொருள்கள் அமைப்பாளர்கள் சந்திக்கும்பிரச்சினைகளாகும். இக் காலங்களில் பெருவேகத் துப்பாக்கிக் குண்டுகளில் ஆரம்பத்தில் அதிகத் திறனைக் கொடுத்து இந்த அதிர்ச்சி அலைகளால் ஏற்படும் இழுவு சமாளிக்கப்படுகின்றது. ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட வேகத்தில் பறக்கும் ஜெட் விமானங்களின் வெவ்வேறு பகுதிகளை ஏற்ற முறையில் அமைத்து இப் பிரச்சினைகள் சமாளிக்கப் படுகின்றன. இதற்குப் பரவளைய உடற்பகுதி அமைப்புகளையும், அம்புத்தலை உருவில் கழிமுக இறக்கைகளையும் உடைய வாகனங்கள் கட்டப்படுகின்றன.

விஞ்ஞானிகளும், பொறியியல் வல்லுநர்களும் ஒரு புது வகைத் தடுப்பைச் சமாளிப்பதில் ஈடுபட்டுள்ளார்கள். உயர் வேகங்களில் பறக்கும் ஆகாயவிமானம், மற்றப் பொருள்களின் அதிர்ச்சி அலைகளின் குறுக்காக இயக்க ஆற்றலின் ஒரு பகுதி மீட்க முடியாத வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றப்படுகின்றது. மிக உயர்ந்த வெப்பநிலை ஏற்படுவதால், தாக்கப்பட்ட காற்றின் என்ட்ரபி அதிகரிக்கிறது. இதற்கு வெப்பத்தடுப்பு என்று பெயர். ஒலி வேகத்தைக் கடந்த மிக அதிகமான வேகங்களுக்கு ஆகாய விமானங்கள் அமைக்கப்படுவதால், இத் தடுப்புகளுக்குத் தீர்வு காண வேண்டியது மிக அவசியமாகிறது.

ஒலியியல் தொலை அளவீடு (Sound Ranging)

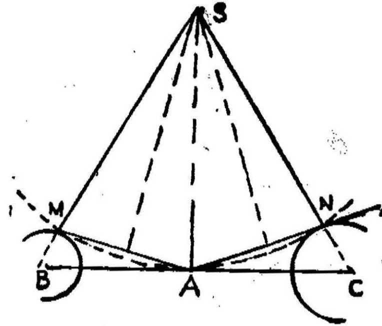
ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்தின் தூரத்தை ஒலிச் சைகைகளைக் கொண்டு கண்டுபிடிக்கும் முறைக்கு ஒலியியல் தொலை அளவீடு என்று பெயர். துப்பாக்கி ஒலியிலிருந்து மறைவிலுள்ள பகைவரின் துப்பாக்கியுள்ள இடங்களையும், இரவில் அல்லது மூடுபனியுள்ள நேரங்களில் பறக்கும் ஆகாய விமானத்தின் உயரத்தையும், பனியாலோ இருளாலோ தெளிவின்றித் தோன்றும் கப்பலின் இருப்பிடத்தையும் காண இம் முறை வெற்றியுடன் கையாளப்பட்டு வருகின்றது. ஜியோபோன், ஹைட்ரோபோன் போன்ற கருவிகள் இதற்குப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. போர்க்காலங்களில் பகைவரின் ஆயுதத்தளங்களைக் காணும் முறையையும், மூடுபனியால் தெளிவற்றிருக்கும்

கப்பலின் இடத்தைக் காணும் முறையையும் விவரமாக இப் பிரிவில் பார்ப்போம்.

பகைவர் ஆயுதம் காணல்

போர்க்காலங்களில் பகைவரின் துப்பாக்கி ஒலியிலிருந்து பகைவர் இருக்கும் இடத்தைக் காணும் முறை. ஒரு படுக்கைக் கோட்டில் *A,B,C* என்னும் மூன்று பார்வை இடங்கள் அமைக்கப் படுகின்றன. பார்வை இடங்களில் மைக்ரோபோன்களை வைத்து, அவை ஒரே மின்சுற்றில் இணைக்கப்படுகின்றன. *S* என்ற இடத்தில் எதிரி இருப்பதாக எடுத்துக்கொள்வோம். எதிரியின் துப்பாக்கி ஒலி மூன்று இடங்களையும் வெவ்வேறு நேரங்களில் வந்தடைகின்றது. பார்வைதளம் *A*-ஐ, *S*-ல் உள்ள எதிரியின் துப்பாக்கி ஒலி முதலில் வந்தடைகிறது; அதற்குப் பின் பார்வைதளங்கள் *B,C* இவற்றை முறையே t_1 t_2 விநாடிகளில் வந்தடைகின்றன.

தக்க அளவுகோலில் ஒரு வரைதாளில் *A, B, C* என்று மூன்று இடங்களைக் குறித்துக்கொள்வோம். ஒலியின் வேகத்தை '*V*' என்று எடுத்துக்கொள்வோம். *B*-யை மையமாகவும் Vt_1-ஐ ஆரமாகக் கொண்டு ஒரு வட்டமும், *C*-ஐ மையமாகவும் Vt_2-ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு வட்டமும் வரையப்படுகின்றன *A*-யிலிருந்து வட்டங்களின் தொடுகோடுகள் *AM*, *AN*-ஐ வரைவோம். *AM*, *AN* இவற்றின் குத்துச் சமவெட்டிகள் சந்திக்கும் இடம் (*S*) பகைவரின் துப்பாக்கி உள்ள இடமாகும்.



படம் 109

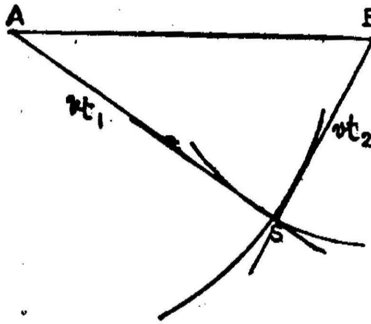
S-ஐ மையமாக வைத்து *SA* அளவு ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்தை வரைந்தால், இவ் வட்டம் மற்ற இரு வட்டங்களையும் *M, N* என்ற இடங்களில் சந்திக்கும். வட்டத்தின் ஆரம் $SA = SM = SN$ ஆகும். *S*-ல் சுடப்பட்ட துப்பாக்கியின் ஒலி *M, A, N* என்னும் இடங்களை ஒரே சமயத்தில் அடையும். ஒலி *M*-லிருந்து *B*-ஐ அடைவதற்கு t_1 விநாடிகளும், *N*-லிருந்து *C*-ஐ அடைய t_2 விநாடிகளும் எடுத்துக்கொள்வது புலனாகும். அதனால்தான் *S*-ல் சுடப்பட்ட துப்பாக்கியின் ஒலி *B,C* என்னும் தளங்களைத்

தாமதித்து அடைகின்றது. வரைதாளில் AS தொலைவை அளந்து பகைவர் தளம் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றது.

கப்பல் இருக்குமிடத்தைக் கண்டுபிடித்தல்

தாங்கள் இருக்குமிடத்தை நிர்ணயிப்பதில் மூடுபனியால் தடங்கல் ஏற்படும் காலங்களில் மாலுமிகள் இம் முறையைப் பயன்படுத்துவார்கள்.

கரையில் தங்களுக்கு நன்றாகத் தெரிந்துள்ள இரு இடங்களை AB தேர்ந்தெடுப்பர். கப்பலிலிருந்து (S) கம்பியில்லாத் தந்திச் சைகை அனுப்பப்படும். இச் சைகை இரு தளங்களிலும் (A,B) ஒரே சமயத்தில் குறிக்கப்படுகின்றது. கப்பலின் அடியில் நீரில் மூழ்க வைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் ஒலி மூலத்திலிருந்து ஓர் ஒலிச் சைகை அனுப்பப்படுகின்றது. இச் சைகை t_1 t_2 விநாடிகளில் தளங்கள் A,B-ஐ அடையும். தளங்களில் குறிக்கப்பட்ட இந்த நேரங்கள் தந்திமூலம் கப்பலுக்குத் தெரிவிக்கப்படுகின்றன. ஒலி நீரின் வழியே A-ஐ அடைய t_1 விநாடிகளும், B-ஐ அடைய t_2 விநாடிகளும் எடுத்துக்கொள்கிறதென்பது தெளிவாகின்றது. நீரில் ஒலியின் வேகம் V ஆனால், $SA = Vt_1$ ஆகும். $SB = Vt_2$ ஆகும். A,B என்ற இரு தளங்களையும் தெரிந்துள்ள கப்பல் தலைவர் ஒரு தாளில் AB என்ற நேர்க்கோட்டை வரைவார்; A,B இவற்றை மையமாகவும், Vt_1 Vt_2 இவற்றை ஆரமாகவும் வைத்து, ஒரே அளவு கோலில் இரு வில்கள் வரைவார். இவ்விரு வில்களும் S என்னுமிடத்தில் வெட்டிக் கொள்ளும். இதுவே கப்பலின் இருப்பிடமாகும். இவ்வாறாக, மூடுபனி நிறைந்துள்ள காலங்களில் கப்பலின் இருப்பிடத்தைத் தெரிந்துகொள்வர்.

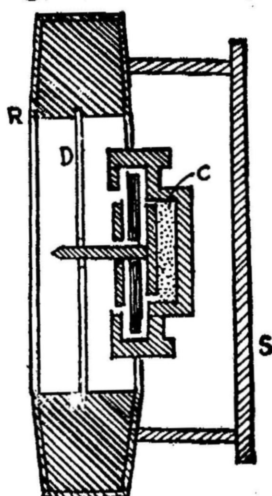


படம் 110

ஹைடிரோபோன் (Hydrophone)

நீருக்கடியில் பரவும் ஒலியலைகளைக் கண்டறிய உதவும் ஒரு கருவி ஹைடிரோபோன் எனப்படும். நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களின் இருப்பிடத்தையும், திசைகளையும் இதைக் கொண்டு கண்டுபிடிக்கலாம்.

நீருக்குள் பயன்படும் ஒருவகைக் 'கார்பன் மைக்ரோ போனே' இந்த ஹைடிரோபோன் ஆகும். இதில் உலோகத்தாலான கனமான ஒரு வளையத்தில் (*R*), எஃகுத் தகடாலான ஓர் இடைத்திரை (*D*) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் நடுப்பகுதி நீர்ப் புகாத ஒரு பெட்டியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தப் பெட்டிக்குள் கார்பன் மைக்ரோபோன் வைக்கப்பட்டுள்ளது. பெட்டியின் பின்பக்கம் ஒரு திரையினால் (*S*) மூடப்பட்டுள்ளது. இத் திரை அந்தப் பக்கத்திலிருந்து வரும் ஒலியைத் தடுத்துவிடும்.



படம் 111

ஹைடிரோபோனை நீரினுள் அமிழ்த்தி வைக்க, ஒலி அலைகள் இடைத்திரையில் பட்டு அதை அதிர வைக்கும். அந்த அதிர்வுகள் மைக்ரோபோனால் மின் துடிப்புகளாக மாற்றப்படுகின்றன. மைக்ரோபோனுடன் இணைக்கப்பட்ட தொலைபேசி வாங்கியில் (Telephone Receiver) ஒலி கேட்கும். இதிலிருந்து ஒலி வரும் திசையை அறியலாம்.

ஹைடிரோபோனின் இடைத்திரைக்கு நேர்க்குத்தாக ஒலி வரும்பொழுது நன்றாகக் கேட்கும். ஹைடிரோபோனை மெதுவாகச் சுழற்றி, ஒலி மூலம் உள்ள இடத்தைக் கண்டு கொள்ளலாம்.

ஜியோபோன் (Geophone)

புவி வழியே செல்லும் ஒலி அலைகளை நுட்பமாகக் கண்டறியும் கருவிகள், சுரங்க வேலைகளுக்காக அமைக்கப்பட்டுள்ளன. முதல் உலக யுத்தத்தின்பொழுது 1914-ல் பிரெஞ்சுக்காரர்களால் ஜியோபோன் என்னும் இந்தக் கருவி கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இது சிறிய அளவிலுள்ள நிலநடுக்கப் பதிவி (Seismograph) ஆகும்.

இந்த ஜியோபோனில் ஓர், இலேசான பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்ட ஒரு கனமான ஈய எடை பெட்டியின் பரிதியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. பெட்டியை உருவாக்கும் இரு தட்டுகளுக்கிடையில் இந்த கனத்த எடை தொங்கவிடப்பட்டிருப்பதால், அதிர்ச்சியின் கனத்தாக்கினால் எடை அசைவற்றிருக்கும்.

அதனுல் கனத்தாக்கைப் பெட்டி ஏற்கும். ஈய எடைக்கும், பெட்டிக்குமுள்ள ஒப்பு அசைவு பெட்டியின் பின்னுள்ள கேள் குழாயில் நெருக்கத்தையும், தளர்ச்சியையும் உண்டாக்கும். இக் கருவி செயல்படும்பொழுது பெட்டியின் முன்பக்கம் புவி யில் அழுத்தப்பட்டும், கேள்குழாயின் தனித்த முனை செவியை ஒட்டியும் பிடிக்கப்படும். இரு செவி கோட்பாட்டில் (Binaural Principle) அதிர்ச்சியின் ஒப்புத்திசையைக் (Relative Direction) கண்டறியலாம். இந்த ஜியோபோன், சுரங்கத்தில் காப்பாற்று வேலைகளுக்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

வினுக்கள்

1. அழுத்த மின் விளைவு என்ருல் என்ன ? இவ் விளைவைப் பயன்படுத்திச் செவியுணரா ஒலியை எழுப்பும் முறையை விளக்குக.

2. காந்தப் பரிமாண மாற்றமென்ருல் என்ன ? இந்த விளைவைப் பயன்படுத்திச் செவியுணரா ஒலி அலையியற்றியை எவ்வாறு அமைத்துப் பயன் பெறலாம் ?

3. செவியுணரா ஒலியைக் கண்டுபிடித்து, அதன் அலை நீளத் தைக் கண்டுபிடிக்கும் முறையை விவரிக்கவும்.

4. செவியுணரா ஒலி என்ருல் என்ன ? அதைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக.

5. செவியுணரா ஒலியின் பயன்களை விவரிக்கவும்.

6. ஒலியியல் தொலை அளவீடு என்ருல் என்ன ? இம் முறை யில் பகைவர் தளம் காணும் முறையை அல்லது மூடு பனிக் காலங்களில் கப்பலின் இருப்பிடத்தைக் காணும் முறையை விளக்கி எழுதுக.

7. ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட ஒலியைப்பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக.

8. குறிப்புரைகள் எழுதுக :
   (a) ஸோனர்,
   (b) மேச் நம்பர்,
   (c) பீஸோ-மின் மைக்ரோபோன்,
   (d) ஹைடிரோபோன்,
   (e) ஜியோபோன்.

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்

Text Book of Sound	...	*E. H. Barton*
Text Book of Sound	...	*Helmholtz*
Dynamical Theory of Sound	...	*H. Lamb*
Theory of Heat	..	*Preston*
Theory of Sound	...	*Lord Rayleigh*
Sound	...	*Richardson*
A Text Book of Sound	...	*A. B. Wood*
Text Book of Sound	...	*Tyndall*
Acoustics	...	*Alexander Wood*
A Text Book of Sound	...	*T. M. Mandal*
Treatise on Sound	...	*J. C. Mukherjee*
Sound	...	*S. R. Govindarajan & others*
Sound	...	*S. Ramamurthy*
Ultrasonics	...	*Benson Carlin*
Vibration and Sound	...	*P. M Morse*
Dictionary of Physics	...	*C. K. Grey*

கலைச்சொற்கள்

அ

அகடு — Trough
அச்சு — Axis
அடர்த்தி — Density
அடர்மிகு ஊடகம் — Denser medium
அடுக்கு — Layer
அடுத்தடுத்த ஒலிகள் — Successive Sounds
அணிக் கோவை — Lattice
அதிரும் அமைப்பு — Vibrating System
அதிர்வி — Vibrator
அதிர்விலாக் கோடு — Nodal Line
அதிர்விலாப் புள்ளி — Nodal Point
அதிர்வின் பகுதி — Component Vibration
அதிர்வு நிலை வேறுபாடு — Phase Difference
அதிர்வு — Vibration
அதிர்வு நேரம் — Period
அதிர்வு வகைகள் — Modes of Vibration
அதிர்வு விதிகள் — Laws of Vibration
அதிர்வெண் — Frequency
அதிர்வெண் நெடுக்கம் — Range of Frequencies
அதிர்வெண்மானி — Frequency Meter
அமைதி மண்டலங்கள் — Zones of Silence
அமைப்பு — Design, Pattern
அரைகோளக் கூடம் — Hemispherical Chamber
அலகு — Unit
அலகு எடை — Unit Mass
அலைகள் — Waves, Undulations
அலை கீறல் — Wavy Groove
அலை நீளம் — Wave Length
அலைப் பண்பேற்றம் — Modulations
அலைவுகள் — Oscillations
அலைவுத் தகவு — Vibration Ratio
அலைவு மையம் — Centre of Oscillation

அழி — Annul
அழிக்கும் முனை — Wiping Head
அழுத்த மாற்றம் — Pressure Change
அழுத்த மின் அலைவுகள் — Piezo-electric Oscillation
அழுத்த மின் துடிப்பான் — Piezo-electric Oscillator
அழுத்தம் — Pressure
அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர் — Manometric flame
அளவீடு செய்தல் — Calibration
அளவுகோல் — Scale
அளவு மீறிய எதிர்முழக்கம் — Excessive Reverberation
அனுப்பு — Convey

ஆ

ஆதார அதிர்வெண் — Fundamental Frequenoy
ஆயம் — Co-ordinate
ஆய்வுக்கூடம் — Laboratory
ஆரம் — Radius
ஆரவிளிம்பு துவாரங்கள் — Radial Slots
ஆர்கன் குழாய் — Organ Pipes
ஆற்றலோட்டம் — Energy Current
ஆற்றல் — Energy
ஆற்றல் மாற்றி — Transducer

இ

இசை — Music
இசை இடைவெளி — Musical Interval
இசை எதிரொலி — Musical Echo
இசை ஒலிகள் — Musical Sound
இசைக் கவை — Tuning Fork
இசை வளம் — Musical Effect
இசைவு செய் — Tune
இடப்பெயர்ச்சி — Displacement
இடைத்தளம் — Interface
இடைத்திரை — Diaphragm
இடைநிலை — Intermediate
இடைவெளி — Interval
இணைச் சுருதி — Composite Note

இதயத்துடிப்பு மானி — Stethoscope
இயக்க ஆற்றல் — Kinetic Energy
இயக்கம் — Excitation, Motion
இயந்திர முறை — Clock Work
இயல் அதிர்வெண் — Natural Frequency
இயல்பு ஆற்றல் — Free Energy
இயல்புகள் — Characteristics
இயற்றி — Generator
இரட்டைப்படை — Even
இரட்டைப்படை மடங்கு — Even Multiple
இரண்டாம் வரிசை — Second Order
இரைச்சல் — Noise
இலக்கு — Target
இலேசான — Light
இழுக்கப்பட்ட — Stretched
இழுவிசை — Tension
இழுவை — Drag
இருமடி மூலம் — Square Root
இறுக்கத் தகைவு — Compressive Stress
இறுக்கம் — Compression

ஈ

ஈரப்பதன் — Humidity
ஈரம் — Moisture
ஈர்ப்பு விசை — Force of Attraction

உ

உடல் கூற்று விளைவு — Psychological Effect
உட்கவரலின் அலகு — Unit of Absorption
உட்கவர் எண் — Adsorption Coefficient
உட்கவர்தல் — Absorption
உட்குழிவு — Cavity
உணர்வு — Perception
உணர்வுச் சுடர் — Sensitive Flame
உந்தம் — Momentum

உயர் அதிர்வெண் — High Frequency
உயர் சுருதி — High Pitch
உயர் மின்னழுத்தம் — High Tension
உயர் மேல் சுரங்கள் — Higher Harmonics
உயிரொலி — Vowel Sound
உயிர்மம் — Cell
உரப்பான இசை ஒலி — Loud Musical Note
உரப்பு — Loudness
உரப்பொலி — Loud Sound
உராய்வு — Friction
உருக்குலைவு — Distortion
உருவாக்கம் — Generating
உருவிளக்கம் — Development
உள் மண்டலம் — Inner Zone
உள்ளிடு அளவு — Input
உறுமல் ஒலி — Rumbling Sound
உறை — Sleeve

ஊ

ஊசல் — Pendulum
ஊசல் குண்டு — Bob
ஊடகம் — Medium

எ

எண்மம் — Octave
எதிரொலி — Echo
எதிர்க்கணு — Antinode
எதிர் மின்கதிர் அலை வரைவி — Cathode Ray Oscillograph
எதிர் மின்வாய் — Cathode
எதிர்முழக்கத் தணிப்பு — Anti-Reverberation
எதிர் முனை — Negative Pole
எந்திர விளைவு — Mechanical Effect
எலெக்ட்ரான் — Electron
எல்லை — Limit
எல்லையின் இறுதி — Extreme

எழுத்தாணி — Stylus
எளிய வகை — Simple Mode
எஃகு — Steel

ஏ

ஏறி — Rider
ஏ. ஸி. புலம் — A. C. Field

ஐ

ஐந்தாம் சுருதி — Fifth Tone

ஒ

ஒத்ததிர்வி — Resonator
ஒத்திசை அதிர்வு — Resonant Vibration
ஒத்திசைத் தம்பம் — Resonance Column
ஒத்திசைவு — Concord, Consonance, Resonance
ஒத்து — Droning Instrument
ஒப்புச் செறிவு — Relative Intensity
ஒருங்கு இசை — Harmony
ஒருமைய — Concentric
ஒருமையக் கோளங்கள் — Concentric Spheres
ஒலி — Sound, Sonics, Acoustics
ஒலி உட்கவரல் — Sound Absorption
ஒலி குறைதல் — Depletion of Sound
ஒலிக் கலை — Acoustics
ஒலிக் காப்பு — Sound Insulation
ஒலி குவிதல் — Focussing of Sound
ஒலிக்கும் பலகை — Sounding Board
ஒலிக்கும் பெட்டி — Sounding Box
ஒலிச் சிதறல் — Scattering of Sound
ஒலிச் செறிவு — Intensity of Sound
ஒலித் தாக்கு — Sound Impulse
ஒலி நிழல் — Sound Shadow
ஒலிப் பண்பு — Quality of Sound

ஒலிப்பதிவு — Sound Recording
ஒலிப்பான் — Loud-speaker
ஒலிப் பெட்டி — Musical Box
ஒலிப்பெருக்கி — Amplifier
ஒலி மீட்டல் — Reproduction
ஒலி முறை ஆழம் காணல் — Depth Sounding
ஒலியழிதல் — Waning
ஒலியியல் தொலை அளவீடு — Sound Ranging
ஒலியுடைய — Sonorous
ஒலியெழுதல் — Waxing
ஒலி விலகல் — Refraction of Sound
ஒலி வேகத்திற்கு மேல் — Supersonic
ஒவ்வா இசை — Discord, Dissonance
ஒழுங்கிசை — Melody
ஒளி அச்சு — Optic Axis
ஒளிப்படம் — Photograph
ஒளி மின் ஓட்டம் — Photo-electric Current
ஒளி மின்கலம் — Photo-electric Cell
ஒளிரும் திரை — Fluorescent Screen
ஒளி வீசு — Illuminate
ஒற்றைப்படை — Odd
ஒற்றைப்படை மடங்கு — Odd Multiple
ஒன்றிப்பு முறை — Method of Coincidence

ஓ

ஓசை — Tone
ஓசையாட்சி — Tone Control
ஓரலகு இடப்பெயர்ச்சி — Unit Displacement

க

கடுங்குரல் — Fierce Tone
கட்ட வேறுபாடு — Phase Difference
கட்டட ஒலியியல் — Acoustics of Buildings
கட்டடப் பொருள் — Building Material
கட்டம் — Phase, Stage
கட்டை — Key

கணக்கியல் — Mathematical
கணத்தாக்கு — Impulse
கண நேரம் — Momentary
கணு — Node
கண்டம், துண்டு — Loop
கதிர் — Spindle
கம்பி இசைக்கருவி — Stringed Instrument
கம்பியில்லா — Wireless
கருவியின் வரம்பு — Compass of the Instrument
கலப்பொலி — Compound Note
கலைஞர் — Architect
கலைநுட்ப ஒலி — Technical Acoustics
கவைப்புயம் — Prong
காட்சிப் பதிவு — Observation
காது ஜவ்வு — Drum
காதொலியம் — Earphone
காந்த ஒலிப்பதிவு — Magnetic Recording
காந்த நீக்குதிறன் — Coercivity
காந்தப் பரிமாண மாற்றம் — Magneto Striction
காந்தமழிக்கும் விளைவு — Demagnetising Effect
காந்தமூட்டல் — Megnetisation
காந்தமேற்றப்பட்ட — Magnetised
காப்பதிர்வுகள் — Maintained Vibration
காப்பான் — Insulator, Keeper
கால வரைவி — Chronograph
கால்டன் ஊதல் — Galtons Whistle
காற்று இசைக்கருவி — Wind Instrument
காற்று ஊதப்பட்ட — Wind Blown
காற்று ஊது கருவி — Wind Blown Instrument
காற்றுத் தம்பம் — Air Column
காற்றுப் பெட்டி — Wind Chest
காற்றுப் பொந்துகள் — Air Cavities
காஸ் ஒலி — Gauze Tone
கிடைமட்ட அச்சு — Horizontal Axis
கிரிட் சுற்று — Grid Circuit
கிரிட் மின்னழுத்தம் — Potential of the Grid
கிளாட்னி வடிவங்கள் — Chladni's Figures
கிளைச் சுரங்கள் — Harmonics
கீச்சுக் குரல் — Shrill Voice

கீச்சொலி — Shrill Note
கீற்றணி — Grating
குடுவை — Flask
குணகம் — Modulus
குணம் — Quality
குண்டிக் கற்கள் — Kidney Stones
குண்ட் குழாய் — Kundt's Tube
குதிரை — Bridge
குத்துயரம் — Altitude
குமிழ் — Bubble
குரல் நாண் — Vocal Chord
குவிதல் — Focussing
குவி மாடம் — Dome
குவியம் — Focus
குவியும் செயல் — Focussing Action
குழிவு (கீரல்) — Groove
குறி — Notation
குறுகிய பிளவு — Narrow Slit
குறுக்கலை — Transverse Wave
குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் — Interference Pattern
குறுக்கு நிலை அலைகள் — Transverse Stationary Waves
குறுக்கு வெட்டு — Cross Section
குறைந்த அதிர்வெண் — Low Frequency
குறைந்த அழுத்தம் — Low Pressure
குறைபாடு — Defect
குற்றலை — Ripple
கூச்சல் — Noise
கூட்டோசை — Combination Tone
கூம்பான — Conical
கூருணர்வு — Sensitivity
கூறு ஒலி — Component Note
கேட்கக்கூடிய — Audible
கேட்கும் மண்டலங்கள் — Zones of Audibility
கேள்வித்திறன் எல்லை — Limit of Audibility
கேள்வி நரம்பு — Auditory Nerve
கையாளும் இயந்திர நுட்பம் — Manipulative Mechanism
கொண்டை — Hump

கொம்பு — Horn
கோவை — Expression

ச

சகடை — Pulley
சமசுருதி சுரவரிசை — Tempered Scale
சமசுருதி மட்டுப்பாடு — Equal Temperament
சமசுருதி மட்டுப்பாட்டு அலகு — Equal Tempered Scale
சமச்சீரற்ற — Asymmetric
சமச்சீரான — Symmetric
சமச்சீர் — Symmetry
சமவெட்டி — Bisector
சமவெப்ப — Isothermal
சரிந்த விளிம்பு — Bevelled Edge
சரிவு — Slope
சறுக்கு — Shearing
சார்பிலா — Absolute
சாவி — Key
சாவிப் பலகை — Key Board
சிதறல் — Scattering
சிதைவு — Decay
சிறுமம் — Minimum
சிற்பி — Architect
சிற்றலகு — Minor Scale
சிற்றிசைத் தொகுதி — Minor Chord
சீரான இயக்கம் — Steady Motion
சீரிசை — Simple Hormonic
சீரிசை அலை இயற்றி — Harmonic Oscillator
சீரிசை இயக்கம் — Simple Harmonic Motion
சீரிசைப் பகுப்பாய்வு — Simple Harmonic Analysis
சீவாளி — Reed
சுடரின்றி — Without Flare
சுடர் விடல் — Arcing
சுய அதிர்வுகள் — Free Vibration
சுரப் பண்பு — Timbre, Quality
சுரம் — Note
சுரமானி — Sonometer

சுர வரிசை — Scale
சுருக்கம் — Contraction
சுருதி — Tone, Pitch
சுருதி மட்டுப்பாடு — Temperament
சுருள் — Spiral
சுழற்சி — Rotation
சுழிப்பு — Vortex
சுற்று — Circuit
செங்குத்து — Vertical
செங்குத்து அலைவுகள் — Vertical Oscillations
செதுக்கப்பட்ட — Chiselled
செயல் ஊக்கி — Activator
செவிக்குழாய் — Auditory Cana!
செவியுணரா — Inaudible
செவியுணரா ஒலியியல் — Ultrasonics
செவியுணர் அதிர்வெண் — Audible Frequency
செவியுணர்திறன் எல்லை — Limit of Audibility Range
செவ்வக — Rectangular
செறிவு — Intensity
சொற்றொடர் — Syllable
சோதனைக் கூடம் — Laboratory

ட

டயட்டானிக் சுரவரிசை — Diatonic Scale
டாப்ளர் விளைவு — Doppler Effect
டிரெவிலியன் ராக்கர் — Trevelyan's Rocker
டியூராலியம் — Duralium
டூர்மலின் — Tourmaline

த

தகடு — Plate, Lamina
தகைவு — Stress
தடை — Obstacle
தடைக்கூறு — Damping factor
தடையுற்ற — Damped
தடையுற்ற அலைவு — Damped Oscillation

தட்டப்படும் கம்பி இசைக் கருவிகள் — Struck String Instruments
தட்டு — Plate, Disc
தட்டுகளின் அதிர்வு — Vibration of Plates
தணிந்த குரல் — Muffled Voice
தணிப்பான் — Moderator
தம்பம் — Column
தம்பூர் — Droning Instrument
தளர்த்தி — Rarefaction
தனிச்சுரம் — Free Note
தாங்கி — Stand
தாழ்சுரம் — Flat Note
தாழ்ந்த ஒலி — Basser Notes
தாழ் மேல் சுரங்கள் — Lower Harmonics
திணிப்பு அதிர்வுகள் — Forced Vibrations
திணிப்பு அலைவுகள் — Forced Oscillations
திமில் — Hump
திரிபு — Strain
திரும்ப ஒலியெழுப்புதல் — Play Back
திரை — Screen
துடிக்கும் நிலை — State of Vibration
துடிப்பு — Pulse
துணைச் சுருள் — Secondary Coil
துண்டு — Segment
துரப்பணம் — Drills
துளை — Aperture
தூண்டு மின் சுருள் — Induction Coil
தூவு — Strew
தெளி — Spray
தேக்கி — Reservoir
தேய்வு — Waning
தொகுப்பு — Composition
தொலைபேசி — Telephone
தொலைபேசி ஏற்பி — Telephone Receiver
தொலைபேசி பரப்பி — Telephone Transmitter
தொழில்நுட்ப — Technical
தொழில்நுட்ப ஒலியியல் — Technical Acoustics
தோல் இசைக் கருவிகள் — Percussion Instruments

ந

நயம் — Delicacy
நறுக்கு ஊது இசைக் கருவிகள் — Reed Blown Instruments
நாடா — Tape
நான்மடி — Fourth Power
நிதான மதிப்பு — Steady Value
நிலை அச்சுகள் — Ordinate
நிலை ஆற்றல் — Potential Energy
நிலைமம் — Inertia
நிலையலைகள் — Stationary Waves
நிலையான அதிர்வெண்கள் — Steady Frequencies
நிலையான கட்டைகள் (சாவிகள்) — Fixed Keys
நீட்சித் தகைவு — Tensile Stress
நீர்மூழ்கிக் கப்பல் — Submarine
நுண்சுடர் — Slender Flame
நுண்துளை — Orifice
நெடுக்கை அடர்த்தி — Linear Density
நெடுக்கைச் சார்பு — Linear Function
நெட்டச்சு — Longitudinal Axis
நெட்டதிர்வுகள் — Longitudinal Vibration
நெட்டலைகள் — Longitudinal Waves
நெருக்கம் — Condensation
நேர்ப் பதிவேடு — Positive Record
நேர்மின்வாய் — Anode
நேர்மின்வாய்ச் சுற்று — Anode Circuit
நேர் விளைவு — Direct Effect

ப

பகு சமன்பாடு — Differential Equation
பகுப்பாய்வு — Analysis
பகுப்பாராய்ச்சி — Analytical
பகுப்பான் — Detector
பகுவோசை — Differential Tone

படிகம் — Crystal
படித்தர அச்சுகள் — Standard Axis
படுக்கை அச்சு — Horizonatal Axis
பட்டை — Band
பதிவாகும் — Impressed
பதிவிடல் — Recording
பதிவு — Impression
பதிவு செய்யும் முனை — Recording Head
பரப்பல் — Propagation
பரப்புதல் — Transmission
பரவளைய ஆடி — Parabolic Mirror
பரவளையக் கொம்பு — Paraboloidal Horn
பரிசோதனை — Experiment
பரிதி — Circumference
பருப்பொருள் அலைகள் — Matter Waves
பருமக் குணகம் — Bulk Modulus
பலமாக இயக்கப்பட்ட — Strongly Excited
பல்கூட்டதிர்வுகள் — Complex Harmonic Vibrations
பல்கூட்டு ஒலி — Complex Sound
பள்ளம் — Depression
பாகுபாடு — Classification
பாடும் சுடர் — Singing Flame
பாதையின் அடர்த்தி — Density of the Track
பாதை வேறுபாடு — Path Difference
பார்வை நீடிப்பு — Persistance of Vision
பித்தக் கற்கள் — Gall Stones
பிரதிபலிக்கும் அமைப்பு — Reflecting Device
பிளப்பு — Slit
பின்னணி — Background
பின்னுதைப்பு — Recoil
பின்னூட்டம் — Feedback
பீரங்கி Cannon
புகை படர்ந்த — Smoked
புரளாமல் — Without Rolling
புல்லாங்குழல் — Flute
புள்ளொலி — Bird Call
புற உணர்வு — Objective
புற ஒலிகள் — External Sounds

பெயர்ந்த இடம்	—	Displaced Position
பெரிய டயட்டானிக் சுர வரிசை	—	Major Diatonic Scale
பெருக்கப்பட்ட	—	Amplified
பெருக்கம்	—	Amplification
பெரோகாந்தம்	—	Ferromagnet
பெருமம்	—	Maximum
பேசும் உறுப்பு	—	Organ of Speech
பேச்சொலி	—	Articulation
பேரலகு	—	Major Scale
பொதுமைய	—	Concentric
பொருந்து	—	Super-impose
பௌதிகப் பண்பு (இயற்பியல்)	—	Physical Quality

ம

மடங்கு	—	Multiple
மணிப் பொறி ஏற்பாடு	—	Clock Work Mechanism
மண்டலம்	—	Zone, System
மந்த சுருதி	—	Hum Note
மந்த வாயு	—	Inert Gas
மனிதக் குரல்	—	Human Voice
மன்றம்	—	Hall
மாறாத நிலை	—	Steady State
மாறிலி	—	Constant
மாறுபடும் அடர்த்தி முறை	—	Variable Density Method
மாறுபடும் பரப்பு முறை	—	Variable Width Method
மாறு மின்தேக்கி	—	Variable Condenser
மாறும் மின்தாக்குகள்	—	Changing Electrical Impulses
மிகுவோசை	—	Sunmational Tone
மிகை ஓசை	—	Extra Tone
மின் அச்சு	—	Electrical Axis
மின் ஒலியியல்	—	Electro Acoustics
மின்காந்த அலைகள்	—	Electromagnetic Waves
மின்காந்தம்	—	Electromagnet
மின் சுடர்	—	Electric Arc
மின் தாக்குகள்	—	Electrical Impulses

மின்தேக்கி — Condenser
மின் நிலைமம் — Inductance
மின் பொறி — Electric Spark
மின்னிசைக் கவை — Electrically Maintained Fork
மின்னிழை — Filament
மின்னிறக்கக் குழாய் — Discharge Tube
மின்னூட்டப்பட்ட — Charged
மின்னூட்டம் — Electric Charge
மீட்சியியல் — Elasticity
மீட்சியியல் அமைப்பு — Elastic System
மீட்சி விசை — Elastic Force
மீட்டப்பட்ட — Plucked
மீட்டப்படும் கம்பி இசைக் கருவிகள் — Plucked String Instruments
மீட்டு — Pluck
மீளும் ஊடகம் — Elastic Medium
மீள் விசை — Restoring Force
மீன் கூட்டங்கள் — Shoals of Fish
முகடு — Crest
முடுக்கம் — Acceleration
முதல் சுரம் — Fundemental Note
முதன்மைச் சுருள் — Primary Coil
முரணிசை — Inharmony
முரலொலி — Humming Sound
முழு எண் மடக்கை — Integral Multiple
முறுக்கு — Torsion
மூல சுரம் — Fundamental Frequency
மூல சுருதி — Fundamental Tone
மூலப்பிரதி — Mother Shell, Original
மூலம் — Origin
மூல வார்ப்பு உரு — Working Matrix
மூன்றாம் வரிசை — Third Order
மெட்டுகள் — Frets
மெட்ரோனோம் — Metronome
மெல்லிதழ் — Foil, Tissue
மெல்லிதழ் ஜவ்வு — Tissue Membrane
மெல்லிய தகடு — Thin Strip
மென் ஒலி — Soft Sound

மென் தாள் — Film
மென்மைச் சுடர் — Delicate Flame
மேடு — Elevation
மேலே எழும்பு — Shoot up
மேல் சுர எதிரொலி — Harmonic Echo
மேல் சுரங்கள் — Upper Partials, Overtones, Harmonics
மைக்ரோஃபோன் — Microphone

ர

ராடார் — Radar
ரிண — Negative
ரிணக் குறி — Negative Sign

ல

லம்பம் — Perpendicular
லயம் — Rhythm
லாகரிதமிக் சதம் — Logarithmic Cents

வ

வகை — Type
வகைப்படுத்தல் — Classification
வடி முனை — Tap
வட்டச் சங்கு — Siren
வட்டுருளை — Drum
வரம்பற்ற பரப்பு — Free Surface
வரிசை — Sequence
வரிப்பள்ளங்கள் — Striations
வரை — Trace
வரையறை — Definition
வர்க்கம் — Square
வலியூட்டம் — Reinforcing
வலிவு அலுமினியம், டியூராலியம் — Duralium
வளம் — Richness

வளர்ச்சி	— Waxing
வளியழுத்தம்	— Atmospheric Pressure
வளையம்	— Loop
வளைவடிவ மண்டலங்கள்	— Annular Zones
வறண்ட காற்று	— Dry Air
வாட்டம்	— Gradient
வாயுப் புழை வழி	— Gas Blower
வாய் ஒலிபரப்பி	— Megaphone
வார்ப்படம்	— Mould
வால்வு அலைவியற்றி	— Valve Oscillator
விகிதம்	— Ratio
விட்டம்	— Diameter
விட்டுவிட்டு அளித்தல்	— Intermittent Application
விடுவாய்	— Outlet
விம்மல் ஒலிகள்	— Beat Tones
விம்மல்கள்	— Beats
வில்லதிர்க்கப்பட்ட கம்பி இசைக் கருவிகள்	— Bowed String Instruments
வில்லதிர்த்தல்	— Bowed
வில்லை	— Disc
விளிம்பு விலகல்	— Diffraction
விளிம்பு விலகல் கீற்றணி	— Diffraction Grating
விளைவு	— Effect
வீச்சு	— Amplitude
வெடிப்பொலி	— Explosion
வெட்டுவாய்	— Section
வெப்ப அயனி வால்வால் காக்கப்படும்	— Valve Maintained
வெப்ப அயனி வால்வு	— Thermionic Valve
வெப்ப ஆற்றல்	— Thermal or Heat Energy
வெப்பக் காப்பாற்றல்	— Heat Maintained
வெப்ப மாறா மாறுதல்கள்	— Adiabatic Changes
வெப்ப மாற்றீடற்ற	— Adiabatic
வெளி	— Space, Atmosphere
வெளிக் கூச்சல்கள்	— Extraneous Noise
வெளிப்படையான	— Apparent
வெளி விடு அளவு	— Output
வெற்றிடக் குழாய்	— Vacuum Tube

வெற்றிடமாக்கப்பட்ட — Evacuated
வெற்றிடம் — Vacuum
வேறுபடுத்தல் — Differentiation

ஹ

ஹைட்ரோஃபோன் — Hydrophone

ஜ

ஜவ்வு — Membrane
ஜெட் — Jet
ஜெட்டின் வாய் — Mouth of the Jet
ஜெட் முன் தள்ளல் — Jet Propulsion
ஜெட் விமானம் — Jet Plane
ஜெட் விளக்கு — Jet Burner
ஜியோஃபோன் — Geophone

ஸ

ஸைன் வளைகோடு — Sine Curve
ஸோனார் — Sonar
ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் — Stroboscope